

MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK-ALFÖLDI RÉGIÓBAN 2010

**KONFERENCIA
ELŐADÁSAI**

Nyíregyháza, 2010. május 19.

Szerkesztette:
Edited by
Pokorádi László

Kiadja:

**Debreceni Akadémiai Bizottság
Műszaki Szakbizottsága**
ISBN 978-963-7064-24-1

Debrecen 2010

A konferencia szervezői:

***Magyar Tudományos Akadémia Debreceni Területi Bizottság (DAB)
Műszaki Szakbizottsága és a
Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Kar***

Közreműködő:

***Magyar Tudományos Akadémia Miskolci Területi Bizottság (MAB)
Gépészeti Szakbizottsága***

A Programbizottság tagjai:

*Prof. Dr. Pokorádi László, elnök
Dr. Kalmár Ferenc; Dr. Kovács Imre; Dr. Lámer Géza; Nagy Attila;
Prof. Dr. Óvári Gyula; Dr. Sikolya László;
Prof. Dr. Szabolcsi Róbert; Dr. Szigeti Ferenc;
Dr. Szűcs Edit; Dr. Szűcs Péter;
Prof. Dr. habil. Tisza Miklós*

A kiadvány nyomdai megjelentetését a ***DKV Debreceni Közlekedési Zártkörűen Működő Részvénytársaság*** támogatta.



***A Konferencia szervezését a
Magyarország-Románia Határon Átnyúló Együttműködési Program
HURO/0801/036/01 sz. pályázata támogatja***

TARTALOMJEGYZÉK

DR. TISZA MIKLÓS

ANYAGTUDOMÁNYI ÉS TECHNOLÓGIAI FEJLESZTÉSEK A KÉPLÉKENYALAKÍTÁSBAN	1.
--	----

ANTAL TAMÁS – KEREKES BENEDEK – SIKOLYA LÁSZLÓ

A VÁKUUM-FAGYASZTVA SZÁRÍTÁS ANYAG-TRANSZPORT FOLYAMATAINAK MODELLEZÉSE	9
---	---

POKORÁDI LÁSZLÓ

A MATEMATIKAI MODELLEK BIZONYTALANSÁGAI	15
---	----

DR. VERMES PÁL

KARBANTARTÁS, KÖLTSÉGEK, GAZDASÁGOSSÁG	21
--	----

DR. KAVAS LÁSZLÓ – DR. BÉKÉSI BERTOLD

A KORSZERŰ REPÜLŐGÉP SZERKEZETÉNEK KARBANTARTÁSI, JAVÍTÁSI SAJÁTOSSÁGAI	29
---	----

FARKAS FERENC

A MOTORÁLLAPOT ÉRTÉKELÉSE NÖVÉNYOLAJ-SZÁRMAZÉKOK HASZNÁLATAKOR	35
--	----

PROF. DR. SZABOLCSI RÓBERT

FORGÓSZÁRNYÚ ÉS/VAGY MEREVSZÁRNYÚ UAV ALKALMAZÁSOK	39
--	----

KULCSÁR ATTILA DLA

VÁROSFEJLESZTÉSEK DISSZONANCIÁI	47
---------------------------------	----

LÁMER GÉZA

EGY SZEMCSE EGYENSÚLYA: KINEMATIKAI HATÁROZATLANSÁG ÉS STATIKAI HATÁROZOTTSÁG	53
---	----

CSANÁDY GÁBOR DLA

AZ OLTÁR HELYE A JERUZSÁLEMI TEMPLOMBAN	59
---	----

KOVÁCSNÉ PLAJOS KATALIN – DR. SZÉLL MÁRIA

KÉTRÉTEGŰ NYÍLÁSZÁRÓK FELÚJÍTÁSÁVAL ELÉRHETŐ ENERGIA-MEGTAKARÍTÁS	65
---	----

KOZMÁNÉ SZIRTESI KRISZTINA

PASSZÍVHÁZAK ÉS NETTÓ ZÉRÓ ÉPÜLETEK AZ ÁTDOLGOZOTT ÉPÜLETENERGETIKAI DIREKTÍVA TÜKRÉBEN	71
---	----

KÁNTOR ANITA

A FORRÁSOK ÉS A SEGÉDTUDOMÁNYOK SZEREPE AZ ÉPÍTÉSZETI KUTATÁSOKBAN (GONDOLATOK AZ ÉRMELLÉKI PINCEFELMÉRÉSEK KAPCSÁN)	77
---	----

JANA ANNOVA – DARINA BADIDOVA – VOJTECH ANNA

AZ EMBER MUNKAKÖRNYEZETI HALLÁSVESZTÉSÉNEK FEJLŐDÉSE AUDIOMETRIAI MÉRÉSEK FELHASZNÁLÁSÁVAL	83
---	----

BERA JÓZSEF

IPARI HELIKOPTERES REPÜLÉS KÖRNYEZETI HATÁSA 89

SZŰCS PÉTER - VIRÁG MARGIT - CSEGÉNY JÓZSEF - SZÁNTÓ JUDIT

KOMPLEX HIDROGEOLÓGIAI VIZSGÁLATOK ÉS MODELLEZÉS A
MAGYAR-UKRÁN HATÁRTÉRSÉGBEN 95

HAGYMÁSSY ZOLTÁN - GINDERT-KELE ÁGNES

ENERGIATERMELŐ NAPELEMEK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA 101

DR. VARGA KLÁRA

SZILÁRDTEST-NYOMDETEKTOR, MINT NYOMJELZŐ 105

DR. KALMÁR IMRE - DR. KALMÁRNÉ DR. VASS ESZTER - NAGY VALÉRIA –

DR. GRASSELLI GÁBOR – DR. SZENDREI JÁNOS

A SZÁNTÓFÖLDI PERMETEZŐGÉPEK KERETLENGÉSÉNEK
MÉRSÉKLÉSÉT MEGALAPOZÓ VIZSGÁLATOK 111

DR. GULYÁS LAJOS

KÖRNYEZETI TRANSZPORT FOLYAMATOK MODELLEZÉSE 117

DR. BOTTYÁN ZSOLT

A KÖD KIALAKULÁSÁNAK ÉS NYOMON KÖVETÉSÉNEK LEHETŐSÉGE A
REPÜLÉSMETEOROLÓGIÁBAN AZ EUMETSAT MSG MŰHOLD RGB
KOMPOZIT PRODUKTUMAINAK ALKALMAZÁSÁVAL 123

DR. LUDÁNYI LAJOS - DR. MAKKAY IMRE - TERÉKI CSABA

TERMOGRÁFIAI ELJÁRÁSOK REPÜLŐGÉPEK ÁLLAPOTFELMÉRÉSÉBEN 129

GINDERT-KELE ÁGNES - HAGYMÁSSY ZOLTÁN

A RÖPÍTŐTÁRCSÁS MŰTRÁGYASZÓRÁS MODELLEZÉSÉNEK
FEJLŐDÉSE 135

DR. BUJALOSNÉ DR. KÓCZÁN ÉVA

„PARADIGMAVÁLTÁS” A MÉRNÖKKÉPZÉSBEN?
(A MÉRNÖK SZEREPE AZ EGÉSZSÉGES KÖRNYEZETHEZ VALÓ
ALKOTMÁNYOS JOGUNK ÉRVÉNYESÜLÉSÉBEN) 141

NAGYNÉ KONDOR RITA PHD - SZÍKI GUSZTÁV ÁRON PHD

MATEMATIKA OKTATÁSA MŰSZAKI PROBLÉMÁK SEGÍTSÉGÉVEL 147

MATKÓ ANDREA EMESE

A SZERVEZETI KULTÚRA DIMENZIÓINAK KÜLÖNBSÉGE A REGIONÁLIS
ÖNKORMÁNYZATOKNÁL 151

OLÁH BÉLA

GENETIKUS ALGORITMUS ÉRZÉKENYSÉGVIZSGÁLATA 157

VARGA BÉLA

A GÁZTURBINÁS HAJTÓMŰVEK ELSŐ 80 ÉVE A REPÜLÉSBEN 163

FERENCZI ISTVÁN

PROFINET IO VÁLASZIDŐK ELEMZÉSE 169

DR. BÉKÉSI LÁSZLÓ

A MULTIMÉDIA ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI AZ
AERODINAMIKA OKTATÁSA SORÁN 175

MONOSTORINÉ HÖRCSIK RENÁTA - DR. DUDÁS ILLÉS

STATISZTIKAI MODELL A FURAT GYÁRTÁSI HIBÁI ÉS HELYZETTŰRÉSE
KÖZÖTT 181

BODZÁS SÁNDOR - DR. DUDÁS ILLÉS

LEFEJTŐMARÓ GYÁRTÁSGEOMETRIAI VIZSGÁLATA 187

SZIGETI FERENC - VARGA GYULA - DEZSŐ GERGELY - PÉTER LÁSZLÓ - SZÁZVAI ATTILA

FORGÁCSOLÁSI PARAMÉTEREK FELÜLETI ÉRDESSÉGRE GYAKOROLT
HATÁSA KÖRNYEZETKÍMÉLŐ MEGMUNKÁLÁSOKNÁL 193

KOVÁCS ATTILA - SZÁZVAI ATTILA – DR. SZIGETI FERENC – DR. VARGA GYULA

KOPÁSÁLLÓ ACÉL KÖRNYEZETBARÁT FORGÁCSOLÁSA 199

MÁNDY ZOLTÁN

A THIRD WAVE OF ADVANT EDGE VÉGES ELEMES SZOFTVER
HASZNÁLATA FORGÁCSOLÁS SORÁN ÉS NÉHÁNY EREDMÉNY
ÉRTÉKELESÉNEK AZ ISMERTETÉSE 203

DR. FAZEKAS LAJOS

A TERMÍKUS SZÓRÓ-ELJÁRÁSOKNÁL ALKALMAZOTT LÁNGTÍPUSOK
ÉS ENERGIAÁRAMOK JELLEMZÉSE 209

TARJÁN PÉTER

FIZIKAI ANALÍZIS A PHENIX ELEKTROMÁGNESES KALORIMÉTERÉVEL 215

DR. SZABÓ LÁSZLÓ - DOBOS GÁBOR

EGY REPÜLŐGÉP FÉKLAP MŰKÖDTETÉSI KONSTRUKCIÓS PROBLÉMA
FELTÁRÁSA FLUIDSIM SZOFTVERREL TÖRTÉNŐ MODELEZÉssel 221

BÍRÓ ANDREA – SZABÓ ENDRE – DR. TISZA MIKLÓS

GYENGÉN ÖTVÖZÖTT, KIS KARBONTARTALMÚ ACÉLOK
KARBONITRIDÁLÁSA 227

MAROSNÉ BERKES MÁRIA

SI₃N₄ KERÁMIÁK MECHANIKAI VISELKEDÉSE I.
KVÁZISZTATIKUS ÉS DINAMIKUS TERHELÉSI JELLEMZŐK 233

KONCSIK ZSUZSANNA

SI₃N₄ KERÁMIÁK MECHANIKAI VISELKEDÉSE II.
TRIBOLÓGIAI JELLEMZÉS 241

MANKOVITS TAMÁS - RÁTHY ISTVÁNNÉ DR.

GUMIRUGÓ BEFOGÓKÉSZÜLÉK TERVEZÉSI ÉS SZILÁRDSÁGI KÉRDÉSEI 247

KONCSIK ZSUZSANNA

MŰSZAKI KERÁMIÁK KOPÁSI MECHANIZMUSAINAK RENDSZEREZÉSE 251

<i>KÓSA PÉTER - FARKAS ZSOLT</i>	
KOPÁSI FOLYAMAT ELEMZÉSE KONSTRUKCIÓS ÁTALAKÍTÁS UTÁN	257
<i>SZABOLCSIK ANDREA - FÓRIÁN SÁNDOR - BODNÁR ILDIKÓ</i>	
A HERNÁD-VÖLGYÉBEN LÉTREHOZOTT VÍZMINŐSÉG MONITORING RENDSZER JELENTŐSÉGE ÉS ADATAINAK ELEMZÉSE	263
<i>SZILÁGYI ESZTER - FÓRIÁN SÁNDOR - BODNÁR ILDIKÓ</i>	
A TÓCÓ-PATAK VÍZMINŐSÉGÉNEK VÁLTOZÁSA A TISZTÍTOTT SZENNYVÍZ KIBOCSÁTÁSÁNAK TÜKRÉBEN	269
<i>DR. MAJOR JÁNOS - KUN SZABINA</i>	
DUNA- TISZA HAJÓZHATÓ CSATORNA KIÉPÍTÉSE MAGYARORSZÁGON AVAGY HOGYAN KÖZLEKEDHETNÉNK AZ ENERGIAVÁLSÁG IDŐSZAKÁBAN ÉS AZON TÚL	275
<i>RÁCZ ZOLTÁN - FÓRIÁN SÁNDOR – BODNÁR ILDIKÓ</i>	
A BERETTYÓÚJFALUI SZENNYVÍZTISZTÍTÓ HATÁSA A BERETTYÓ FOLYÓ VÍZMINŐSÉGÉRE	283
<i>MOLNÁR BOGLÁRKA - POKORÁDI LÁSZLÓ</i>	
MONTE-CARLO SZIMULÁCIÓS MÁSODRENDŰ VALÓSZÍNŰSÉGI BIZONYTALANSÁGELEMZÉS SZEMLELTETÉSE	289
<i>GYÖNGYÖSI SZILVIA – DR. BARKÓCZY PÉTER - TÓTH ANITA</i>	
ALLOTRÓP ÁTALAKULÁS SEJTAUTOMATA SZIMULÁCIÓJÁNAK SKÁLÁZÁSA	295
<i>BENE ZSUZSANNA - PANKHARDT KINGA</i>	
ÉPÍTÉSI ÜVEGEK TISZTASÁGI KÉRDÉSEI	301
<i>BODNÁR DÁVID IMRE - PANKHARDT KINGA</i>	
RÉGMŰLT ÉS NAPJAINK HABARCSAI	307
<i>TÓTH ANITA - GYÖNGYÖSI SZILVIA – DR. BARKÓCZY PÉTER</i>	
ALUMÍNIUM ÖTVÖZETEK ÚJRAKRISTÁLYOSODÁSÁNAK SZIMULÁCIÓJA SEJT AUTOMATA MÓDSZERREL	315
<i>NAGY FERENC</i>	
KERESZTMETSZETI KIHASZNÁLTSÁG ÉS OSZTÁLYOZÁS KAPCSOLATA ACÉLSZELVÉNYEK ESETÉN	321
Jani Sándor Gábor - Serestyén Tamás - Pankhardt Kinga – Kovács József	
ÚJRAHASZNOSÍTOTT ADALÉKANYAGÚ BETONOK	325
<i>SZABÓ GÁBOR - MANKOVITS TAMÁS</i>	
GUMIALKATRÉSZEK ALAKOPTIMALIZÁLÁSÁNAK ELVI MEGKÖZELÍTÉSE	333

ANYAGTUDOMÁNYI ÉS TECHNOLÓGIAI FEJLESZTÉSEK A KÉPLÉKENYALAKÍTÁSBAN

MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS IN METAL FORMING

Dr. TISZA Miklós

egyetemi tanár, tanszékvezető
Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék
tiswa.miklos@uni-msikolc.hu

Kivonat: A képlékenyalakítás napjaink egyik legdinamikusabban fejlődő technológiai ágazata. E korszerű anyag- és energiatakarékos eljárás egyik fő alkalmazási területe az autóipar, ezért nem véletlen, hogy az elmúlt években a képlékenyalakítás terén megvalósult fejlesztések jelentős részét az autóipari fejlesztések ösztönözték, illetve határozták meg. Az elmúlt évtizedek autóipari fejlesztéseit mind az alkalmazott anyagokat, mind pedig az új technológiai eljárásokat illetően alapvetően azok a folyamatosan növekvő követelmények határozták meg, amelyek a világméretű globális versenyben az autóipar egészét érintették. E követelmények között egyre nagyobb szerepet játszanak gyakran egymásnak is ellentmondó olyan követelmények, amelyek gazdaságosabban üzemeltethető és minél inkább környezetbarát járművek fejlesztését irányozzák elő, egyidejűleg a biztonsági és kényelmi követelmények fokozódó törvényi előírásaival együtt. E versenynek és a fokozódó követelményeknek köszönhetően új anyagok különleges típusai láttak napvilágot: a tömegcsökkentési követelmény szempontjából kívánatos növelt szilárdságú anyagok alkalmazása azonban gyakran alakíthatósági problémákat vet fel és megmunkálásuk természetesen új technológiai megoldásokat is igényelnek és ösztönöznek. Az előadás a képlékenyalakítás anyagtudományi és technológiai fejlesztéseit tekinti át elsősorban az autóipari alkalmazások szemszögéből

Kulcsszavak: anyagtudományi, technológiai fejlesztés, képlékenyalakítás, autóipari alkalmazás

Abstract: Metal Forming is one of the most dynamically developing fields among manufacturing technologies. The automotive industry may be regarded as the main field of metal forming applications. This is the main reason that most of the recent developments in metal forming are stimulated by the developments and the requirements of the automotive industry. These developments may be often characterised by contradictory requirements stated by the global competition such as more and more economical and user friendly vehicles together with the continuous increase of safety and comfort. Due to these challenges and the ever increasing demand new material classes have been developed: however, the more and more wide application of high strength materials meeting the requirements stated by the mass reduction lead to increasing difficulties concerning the formability which requires significant technological developments as well. In this paper, the recent materials science and technological developments will be overviewed from the point of view of the automotive industry.

Keywords: materials science, technological developments, metal forming, automotive industry

1. BEVEZETÉS

A képlékenyalakítás a gépipari megmunkáló eljárások között az egyik leginkább anyag- és energiatakarékos eljárás. A képlékenyalakítás – különösen a lemezalakítás – egyik legfontosabb alkalmazási területe az autóipar, így nyilvánvaló, hogy fejlesztésének is egyik motorja és meghatározója az autóipar. Az autóipari fejlesztéseket számos, gyakran egymásnak is ellentmondó követelmények ösztönzik. Az autóipari fejlesztéseket természetesen mindenek előtt a világméretű globális verseny és ezen belül is elsősorban a fogyasztói követelmények és a különböző törvényi előírások határozzák meg.

Fogyasztói oldalról a követelmények között a minél gazdaságosabban üzemeltethető, ugyanakkor minél biztonságosabb és minél magasabb szintű kényelmi funkciókat biztosító

járművek iránti igény fogalmazódik meg. Ehhez járulnak még azok a törvényi előírások, amelyek a környezet védelme érdekében a gépjárművek káros anyag kibocsátásának egyre szigorodó követelményeit írják elő és ugyancsak számos törvényi szabályozás vonatkozik a személygépkocsikban utazók biztonságának növelésére. Ezek a fogyasztói igények és törvényi előírások részben összhangban vannak, részben olyan ellentmondásos követelményeket támasztanak, amelyek kielégítése gyakran komoly nehézségekbe ütközik, és amelyek az anyagtudományi és technológiai fejlesztések egyik fő hajtóerejét is jelentik [1].

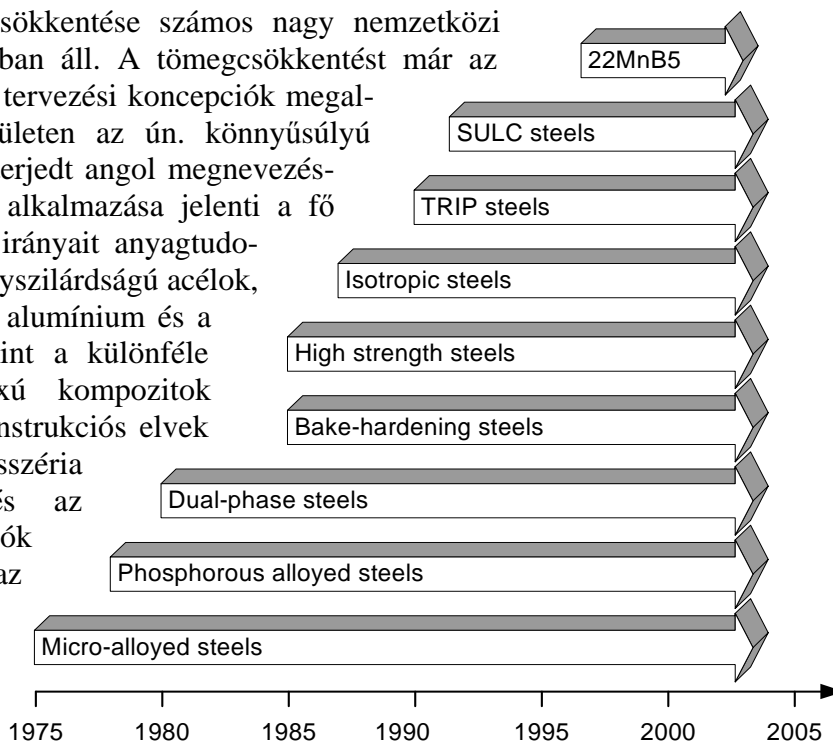
Az előzőekben vázolt követelmények közül egyidejűleg több szempont kielégítésében is fontos szerepet játszik a személygépkocsik tömegének a csökkentése. A tömegcsökkentéssel egyrészt a kisebb fogyasztás, gazdaságosabb üzemeltetés fogyasztói követelménye, másrészt a kisebb fogyasztás révén a káros anyag kibocsátás törvényi mértékének kielégítése is elérhető. Ahhoz azonban, hogy az autók tömegének jelentős részét kitevő karosszéria elemek tömegét a biztonsági követelmények fokozódásának egyidejű teljesítése mellett megvalósíthassuk egyre nagyobb szilárdságú anyagok alkalmazására van szükség. A szilárdság növelésével azonban az anyagok alakíthatósága jellemzően csökken: ugyanakkor az alakíthatóság a karosszéria elemek gyártásának egyik kulcskérdése, tehát igen ellentmondásos követelmények között kell megfelelő egyensúlyt teremtenünk [2].

A következőkben elsősorban ennek az ellentmondásos fejlesztési követelménynek a feloldását célzó anyagtudományi és technológiai fejlesztéseket tekintjük át röviden.

2. ANYAGTUDOMÁNYI FEJLESZTÉSEK

A személyautók tömegének csökkentése számos nagy nemzetközi fejlesztési projekt középpontjában áll. A tömegcsökkentést már az autók tervezésénél, a különféle tervezési koncepciók megalkotásánál kell kezdeni: e területen az ún. könnyűsúlyú konstrukciók (széles körben elterjedt angol megnevezéssel light weight construction) alkalmazása jelenti a fő irányt. A tömegcsökkentés fő irányait anyagtudományi oldalról a különböző nagyszilárdságú acélok, a könnyűfémek (elsősorban az alumínium és a magnézium ötvözetek), valamint a különféle szálerősítéssel polimer mátrixú kompozitok alkalmazása jelenti. Ezek a konstrukciós elvek alapvetően érintik az autókarosszéria tervezési koncepciót is, és az alkalmazott tervezési koncepciók jelentős mértékben függenek az autók kategóriájától és a gyártási volumentől is.

Az autó karosszéria elemek gyártásában mind a mai napig a különféle acélötvözetek játsszák a fő szerepet. Az 1. ábrán az utóbbi 35-40 év legfonto-

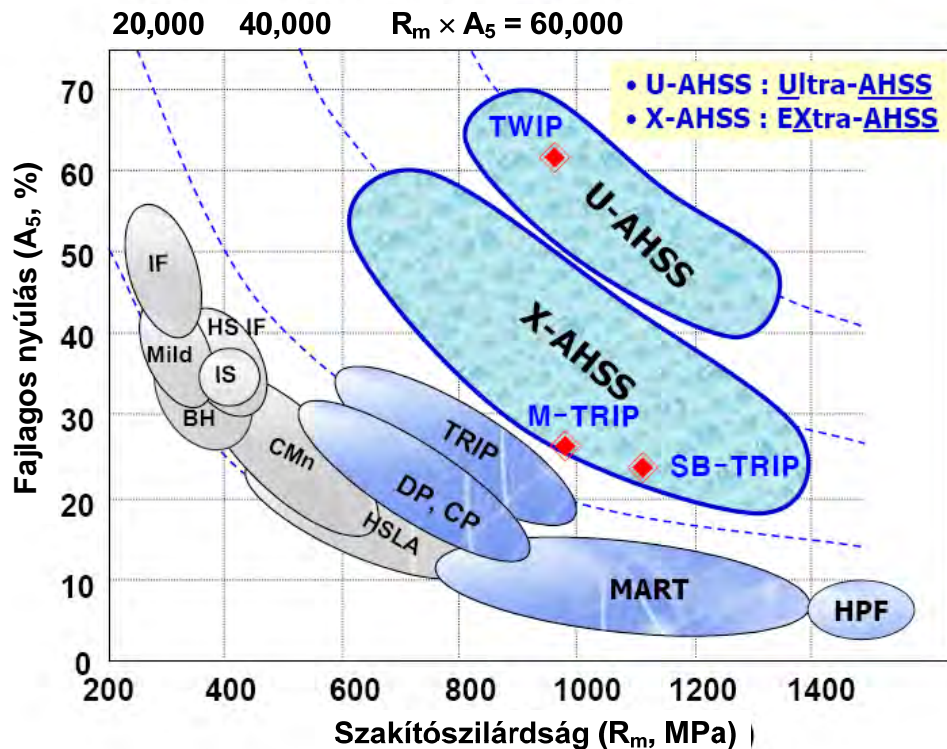


1. ábra. Acélfejlesztési eredmények az autóiipari lemezanyagok területén

sabb acélfejlesztési irányzatait foglaltuk össze az idő függvényében. Az ábra jól érzékelteti, hogy a mikro-ötvözt acélok 1970-es évekbeli ipari megjelenését követően szinte 5 évenként jelent meg egy-egy új anyagtípus, amely alapvetően megváltoztatta az autóiipari lemezalakí-

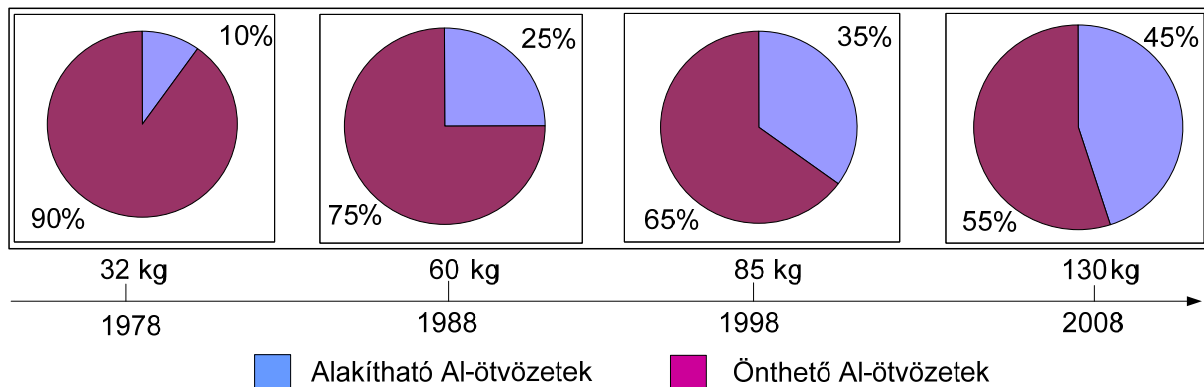
tást, jelentős hatást gyakorolva a technológiai fejlesztésekre is.

Az anyagfejlesztési eredmények hatását a különféle autóiipari acélötvözetek mechanikai tulajdonságaira a 2. ábra szemlélteti [3].



2. ábra. A szakítószilárdság – fajlagos nyúlás kapcsolata korszerű lemezanyagokra

A 2. ábrán jól látható az a jól ismert összefüggés, hogy a növekvő szilárdsággal az alakváltozóképeség monoton csökken, azaz miközben a tömegcsökkentés szempontjából lényeges szilárdsági jellemzők dinamikus növekednek, ezen anyagok alakíthatósága komoly technológiai kérdéseket vet fel. Azt is érdemes megfigyelni a 2. ábrán, hogy míg az ún. „klasszikus, nagy szilárdságú acélokra” a szakítószilárdság fajlagos nyúlás szorzata a $C=20,000$ konstanssal jellemezhető hiperbola mentén helyezkedik el, a legutóbbi évek fejlesztését jelentő X-AHSS – Extra nagy szilárdságú acélokra a $C=40,000$, az U-AHSS – Ultra nagy szilárdságú acélokra a $C=60,000$ konstanssal jellemezhető hiperbola mentén található.

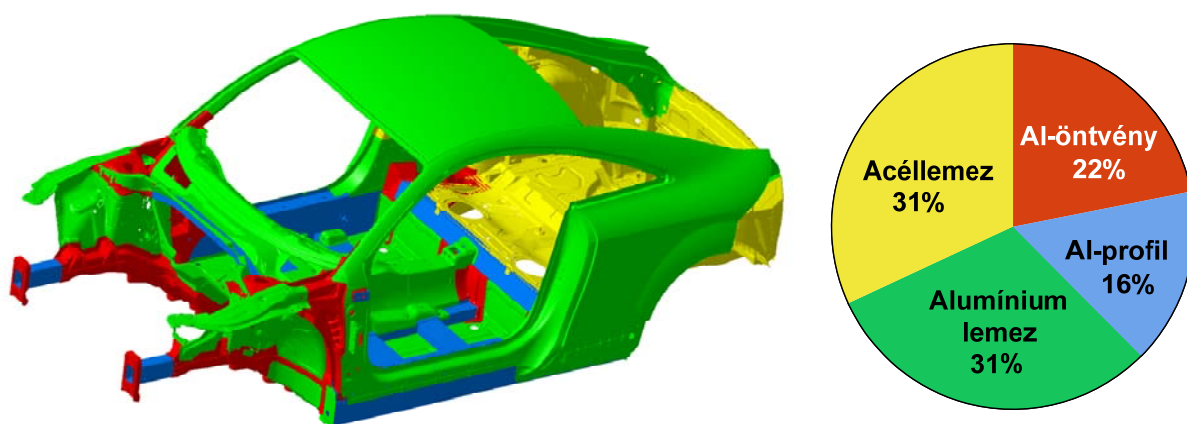


3. ábra. Alumínium ötvözetek autóiipari felhasználásának változása

A nem-vas fémek közül az alumínium ötvözetek autóiipari alkalmazásában figyelhető meg a legnagyobb fejlődés (3. ábra). Míg 1978-ban az egy autónál felhasznált alumínium átlagos

menyisége mindösszesen 32 kg és ezen belül az öntött alumínium aránya 90 % volt, ugyanakkor az alumínium átlagos mennyisége 2008-ban már 130 kg és lényegében az öntött és alakítható alumínium ötvözetek aránya közel megegyezik.

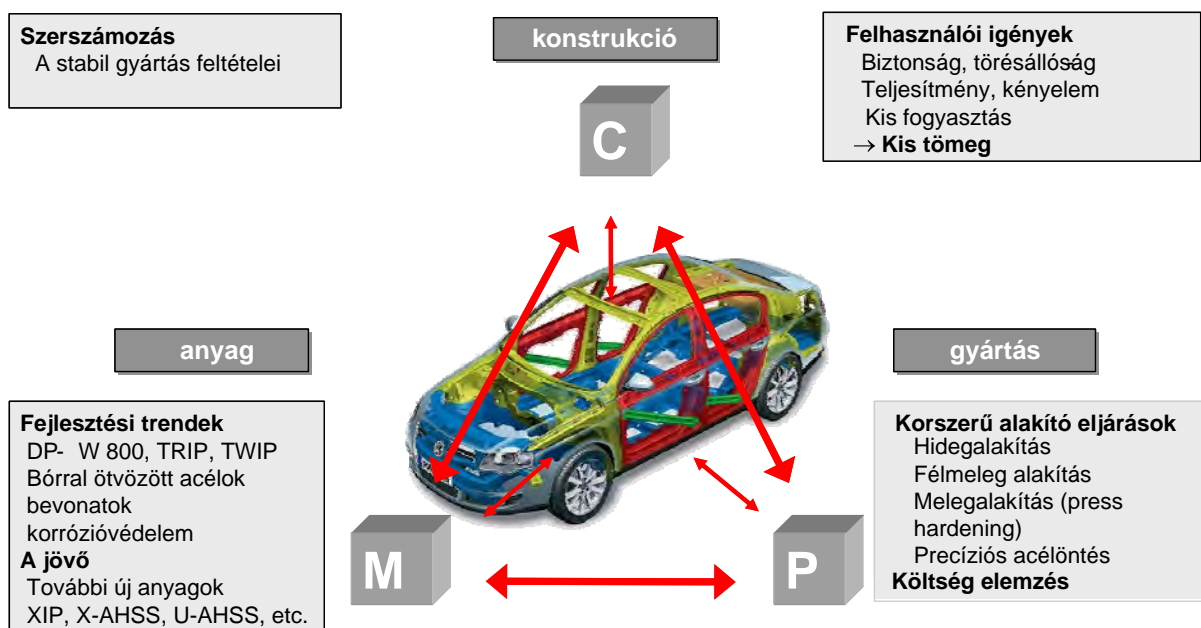
A tömegcsökkentést célzó autóiipari anyagfejlesztések érdekes eredménye az a tanulmány autó, amely a 4. ábrán látható. A teherviselő elemek nagy szilárdságú acélból, míg a karosszéria számos eleme a tömegcsökkentés szempontjából nagy jelentőségű alumínium ötvözetekből készül.



4. ábra. Több komponensű (multi-material) koncepció a tömegcsökkentés érdekében [4]

3. TECHNOLÓGIAI FEJLESZTÉSEK

Az új anyagok alkalmazása a gyártási-alakítási technológiában is lényeges változtatásokat, fejlesztéseket igényel. E fejlesztések megjelennek az autóiipari innovációs lánc teljes folyamatában a lemez alapanyag gyártásától kezdve a tovább feldolgozáson, különféle kezeléseken keresztül a végső lemezmegmunkáló eljárásokig. Az előadás korlátozott terjedelme miatt ennek csak egy szűk szegmensére, nevezetesen a végső lemezmegmunkálásra vonatkozó néhány technológiai fejlesztés rövid bemutatására vállalkozhatunk.



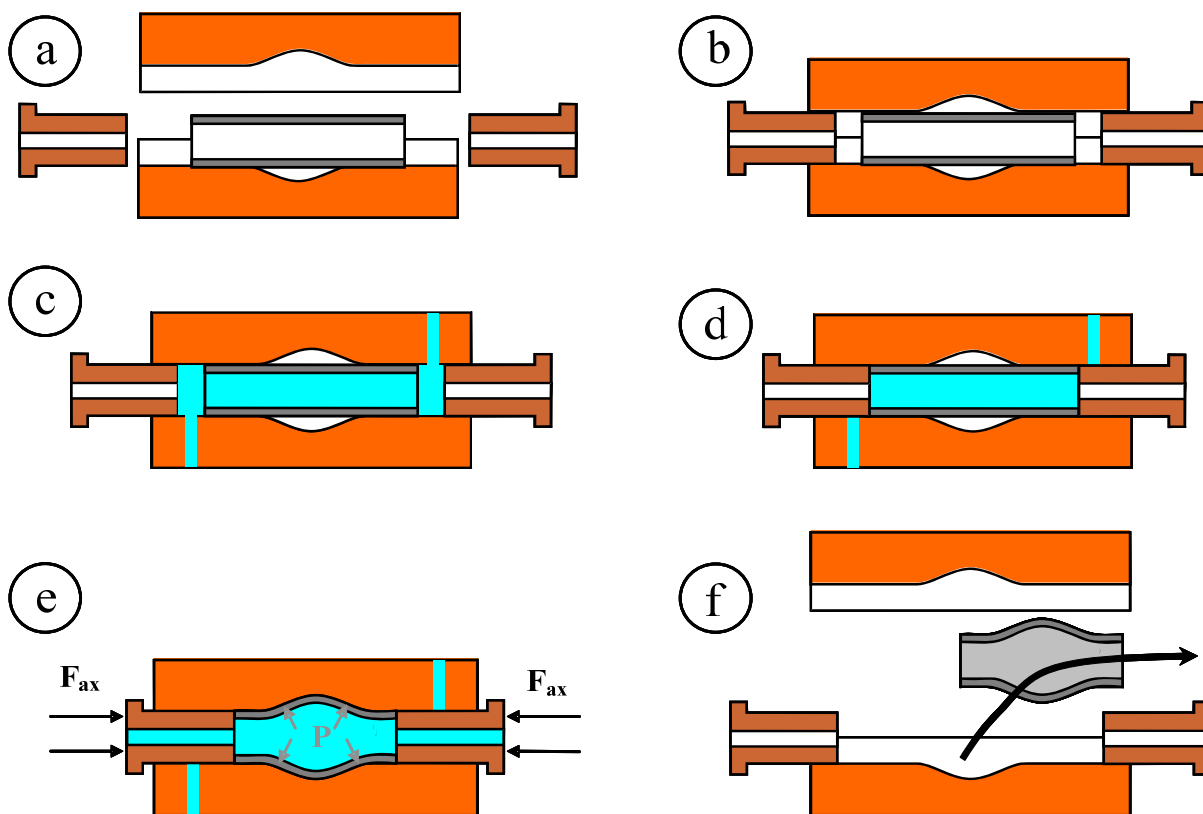
5. ábra. Integrált autóiipari termékfejlesztési koncepció

A technológiai fejlesztéseknél is hangsúlyozni kell azonban, hogy eredményes fejlesztés csak a konstrukció, az anyagválasztás és a technológiai eljárás szinergikus egységével valósítható meg, amint azt az 5. ábra is mutatja [5].

Az autóiipari lemezalakítási fejlesztések közül mindenképpen kiemelésre kívánczik a lemezek hidroformázása (sheet hydroforming), a lézeres alakítás, a félmeleg- és a melegalakítás, a szuperképlékeny alakítás, az inkrementális lemezalakítás, a technológiai folyamatok átfogó számítógépes tervezése és modellezése, valamint a gyártás közbeni folyamatos monitoring és beavatkozás lehetősége. E témakörök mindegyike önálló előadást igényelne, ezért közülük is csak néhány szemelvény bemutatására vállalkozhatunk.

3.1. Sheet HydroForming – Lemezek HydroForm alakítása

A HydroForm eljárás alapötlete abból a jól ismert alapelvből következik, hogy minél negatívabb az alakítás során a hidrosztatikus feszültségkomponens, annál nagyobb az anyagok alakváltozó képessége, következésképpen kevésbé alakítható anyagok is jobban alakíthatóvá válnak, illetve hagyományos módszerekkel nem, vagy csak több lépésben alakítható komplex munkadarabok is gyakran egyetlen lépésben készre alakíthatók. Az eljárás elvi vázlatát a 6. ábra mutatja. Az eljárás lényege röviden abban foglalható össze, hogy nagynyomású folyadékkal és egyidejűleg – az alakítás típusától függő irányú – alakító erővel, jelentős hidrosztatikus nyomással kényszerítjük az anyagot az alakot adó üreg kitöltésére.



6. ábra. A HydroForm csőalakítás elvi vázlata

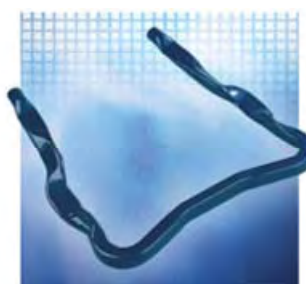
A HydroForm eljárást széles körben alkalmazzák az autóiiparban egyszerű lemezalkatrésztől kezdve, bonyolult, összetett dupla falú lemezalkatrészek, teherviselő első- és hátsó vázszerkezetek, motortartó bölcsők, kipufogó rendszer elemek gyártására. A HydroForm alakító eljárás néhány autóiipari alkalmazására mutat példát a 7. ábra.



Önhordó vázszerkezetek



Első-hátsó tartókeretek



Motor bölcső



Kipufogó rendszer elemek



Aljlemez



Csőszerű tartó elemek

7. ábra. HydroForm eljárással gyártott autóiipari alkatrészek

3.2. Nagyszilárdságú acélanyagok melegalakítása – Press hardening

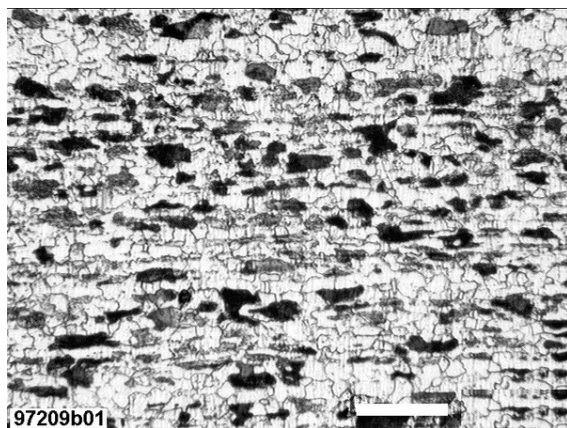
A HydroForm eljárás mellett napjaink egyik „sláger témája” az autóiipari lemezalakításban a különféle nagyszilárdságú acélok melegalakítása. Az autóiiparral szemben megfogalmazott fő követelmények között az egyre nagyobb követelményeket kielégítő töréstesztetek is fontos szerepet töltenek be. A nagyszilárdságú anyagok csökkenő alakváltozó képességét hivatott kompenzálni egy olyan technológiai fejlesztés, amelynek az alapjai valójában az anyagtudományi fejlesztés eredményeiben gyökereznek.



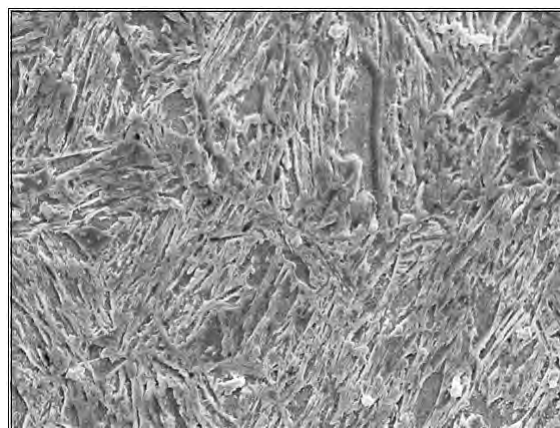
8. ábra. 22MnB5 acélból készült B-oszlop fényképe

Tipikusan autóiipari alkalmazásokra kifejlesztett nagyszilárdságú acél a 22MnB5 anyagjelű, bórral mikro-ötvezött acél, amely számottevő ötvöző mennyiséget csak mangánból tartalmaz (Mn = 1,2-1,4 %). A Mn mellett a mikro-ötvezött acéloknál megszokott minimális mennyiségben Al-Ti-Cr ötvözőket találunk. A szállítási állapotban $R_{p0.2} = 300-350$ MPa folyási határral és kedvező alakváltozási jellemzőkkel ($A_{80} = 20$ %) rendelkező acélt austenites állapotban $T = 900-950^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten alakítva, az alakító szerszámban hűtik $v_h > 50$ $^{\circ}\text{C/s}$ hűtési sebességgel. Az alakítás és az azt követő gyors hűtés eredményeként nagyszilárdságú ($R_m > 1500$ MPa), stabil martenzites szövet-szerkezetet kapunk, amely kiválóan alkalmas nagy igénybevételnek kitett, teherviselő elemek készítésére. E különleges és kiváló tulajdonságokkal rendelkező acél tipikus autóiipari alkalmazási területe a különféle teherviselő autó-

elemek alakítása (az ún. A- és B-oszlop, oldalütközés védelmi megerősítések, karosszéria váz elemek, első- és hátsó keresztartók, ajtó- és tetőpanel keretek). $s = 1,85$ mm lemezvastagságú anyagból ezzel az eljárással készített B-oszlop fényképe látható a 8. ábrán, míg a 9. ábrán ennek az acélnek a mikroszerkezete látható szállítási állapotban (a) és a melegalakítás és hűtés utáni (b) martenzites állapotban [6].



a) Ferrit-perlites szövetszerkezet szállítási állapotban (N = 100x)

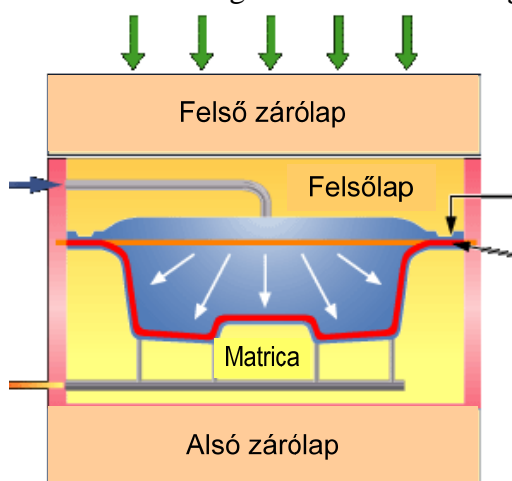


b) Melegalakítás és hűtés utáni martenzites szövetszerkezet (N = 1500x)

9. ábra. 22MnB5 bórral mikro-ötvözött Mn-acél mikroszerkezete

3.3. Gyors prototípus gyártási technológiák a lemezalakításban

A gyors prototípus gyártás iránti igény az utóbbi évtizedekben számos területen került a kutatások homlokterébe. A gyors prototípus gyártás jellemzően az egyedi, illetve a kissorozat gyártás technológiája: az autóipar – a jellemzően nagy volumenű, tömeggyártási igény miatt – alapvetően nem tartozik ebbe a kategóriába. Azonban az autóiparban is van olyan terület, ahol ezeknek az eljárásoknak is van létjogosultsága, sőt egyértelműen fontos igényt elégítenek ki: ez a terület az egyre szigorodó töréssztek elvégzése a fejlesztés minél korábbi szakaszában, amikor a szükséges változtatások még nem igényelnek a tömeggyártáshoz elkészített szer-

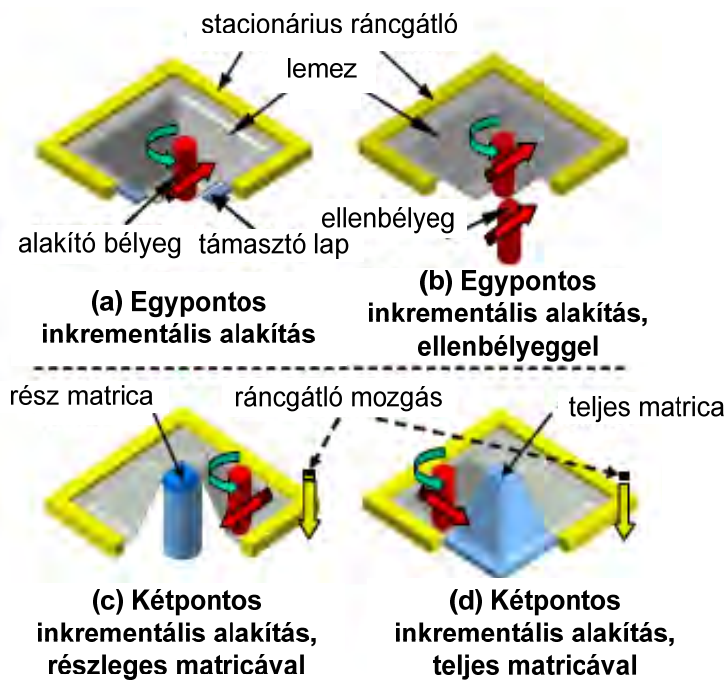


10. ábra. Szuperképlékeny alakítás elvi vázlata

számozást és berendezést. Erre a feladatra is alkalmas innovatív, új technológiák a szuperképlékeny alakítás és az inkrementális alakítás. Mind a két technológia alapvetően azért jelent gazdaságos alternatívát más eljárásokkal szemben, hogy nem, vagy alig igényelnek szerszámot.

A 10. ábrán a szuperképlékeny alakítás elvi megoldása látható. Az alakítást rugalmas közeggel (gyakran levegővel, esetenként aktív védelmet biztosító védőgázzal) végzik az alakot meghatározó szerszámokban. Az alakításhoz a szuperképlékenységi feltételeit kell biztosítani, azaz ultrafinom ($d_{\text{átl}} = 2-5 \mu\text{m}$) szemcseméretű, kétfázisú szövetszerkezet, szélsőségesen kis alakváltozási sebesség ($\dot{\phi} \approx 10^{-4} - 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) és nagy sebességérzékenység ($m > 0,5$) szükséges. E

feltételek fennállása esetén szélsőségesen nagy alakváltozások (egyes ötvözeteknél 1000-1500 % nyúlás) törés, repedés nélkül megvalósítható, ezáltal rendkívül összetett munkadarabok is egy lépésben készre alakíthatók.



11. ábra. Egyponthoz és kétpontoz inkrementális lemezalakítás alapesetei

A rugalmas innovatív alakító eljárások egyik közelmúltbeli fejlesztési eredménye az inkrementális lemezalakítás. Szemben a hagyományos képlékenyalakító eljárásokkal, amelyeknél a munkadarab alakját megfelelően kiképzett merev alakító bélyeggel és matricával határozzák meg, inkrementális alakításnál az alakot egy rendszerint gömbvéggel rendelkező alakító bélyeg matrica nélkül határozza meg. Az alakító bélyeget a munkadarab térbeli alakjának megfelelő pályán CNC vezérléssel mozgatjuk. Az eljárás nagy előnye, hogy egy legalább 3 tengelyes CNC vezérléssel rendelkező univerzális marógépen is megvalósítható, így valóban minimális költséggel

tudunk egészen bonyolult alakokat a hagyományos eljárásokhoz viszonyítva lényegesen nagyobb alakváltozással létrehozni. Az inkrementális lemezalakítás néhány alapesete látható a 11. ábrán [7].

4. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] KOPP, R., Innovations in metal forming in the World, Proc. of the 9th ICTP Conference, Gyeongju-Korea, 7-11. September 2008. pp. 7-24.
- [2] TISZA, M., Developments in Sheet Metal Forming for the Automotive Industry, Proc. of ICME, Bratislava, 29-30. November 2007. pp. 171-178.
- [3] CHUNG, J., KWON, O., Development of high performance auto steels at Posco steels, Proc. of the 9th ICTP Conference, Gyeongju-Korea, 7-11. September 2008. pp. 3-8.
- [4] WALTL, H., VETTE, V., GRIESBACH, B., Tool Making for Future Car Bodies, Proc. of IDDRG 2007, Győr-Hungary, 21-23. May 2007. pp. 31-46.
- [5] KOLLECK, R., FEINDT, J., LENZE, F.-J., Manufacturing methods for safety and structural body parts for light weight body design, Proc. of IDDRG 2004, Sindelfingen-Germany, 24-26 May 2004. pp. 121-128.
- [6] TURETTA, A., GHIOTTI, A., BRUSCHI, S., Investigation of 22MnB5 Mechanical and Phase Transformation at High Temperature, Proc. of IDDRG 2007, Győr-Hungary, 21-23. May 2007. pp. 147-156.
- [7] HAGAN, E., JESWIET, J., A review of conventional and modern single point sheet metal forming, IMECHE part B., Journal of Eng. Manufacture, 2003. v. 217. pp. 213-225.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az előadásban ismertetett kutatómunka a PowerForm Európai projekt és az EUREKA_HU NKTH-projekt támogatásával készült. A projektek pénzügyi támogatását a szerző ezúton is megköszöni a Pro Factory Európai projekt ügynökségnek és a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatalnak.

A VÁKUUM-FAGYASZTVA SZÁRÍTÁS ANYAG-TRANSPORT FOLYAMATAINAK MODELLEZÉSE

MODELLING OF MASS TRANSFER PROCESSES OF VACUUM-FREEZE DRYING

ANTAL Tamás¹ – KERESKES Benedek¹ – SIKOLYA László²

Nyíregyházi Főiskola

¹Műszaki és Mezőgazdasági Kar, Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék

²Műszaki és Mezőgazdasági Kar, Közlekedéstudományi és Infotechnológiai Tanszék

4400 Nyíregyháza, Kótaji u. 9-11.

antalt@nyf.hu, kerekkesb@nyf.hu, sikolya@nyf.hu

Kivonat: A mezőgazdasági termékek szárítási folyamatainak jellemzésére legalkalmasabbak a száradási görbék. Azonos gyümölcs- és zöldségfajtával történő többszöri fagyasztva szárítási kísérlet után pontos közelítéssel meghatározható az adott fajta száradási görbéjének lefutása. A száradási görbénél függvényillesztéseket végeztünk, amelyek matematikai összefüggésekkel kifejezhetők. Gyakorlati jelentőségük az eredményeink, hiszen a gyümölcs- és zöldségszárítással foglalkozó üzemek a szárítási folyamat vezérlésénél és szabályozásánál a függvényillesztéssel meghatározott száradási görbéket követve dehidrállhatják a szárítandó termékeiket.

Kulcsszavak: Liofilizálás, Adatgyűjtő rendszer, Száradási görbe, Polinomok.

Abstract: The drying curves are the most suitable for characterising of the drying process of agricultural crops. The running down of dehumidification of a given variety can be exactly determined after multi-repeated freeze drying trials by the same varieties of the selected fruits and vegetables. Function matching was done to the drying curves, which were expressed by mathematical relations. The results have some practical importance, because the fruit and vegetable drying plants can dehydrate their crops by following the function matching of the laboratory drying curves, when controlling the drying process.

Keywords: Lyophilisation, Data processing system, Drying curve, Polynomials.

1.BEVEZETÉS

A szárításelmélet az alapvető analitikai és kísérleti kutatásokra épülve jött létre. A szárítási folyamatok elemzése elsősorban kinetikai úton történik. Ez tette lehetővé a nedves kolloid-kapilláris-pórusos anyagokban (gyümölcs- és zöldségfélékben) fázisátalakulások keletkezése és jelenléte mellett a hő- és anyagátvitel elméletének kidolgozását. A hő- és anyagtranszport folyamat lefolyásának jellegét legteljesebben és legpontosabban a száradási görbék és hőmérsékletgörbék írják le [4, 6].

Több kutató is alátámasztja, hogy a hő- és anyagátadási folyamat megbízható matematikai közelítése számos nehézségbe ütközik. Bár a vízelvonást leíró parciális differenciálegyenletek felállítására történtek próbálkozások, kezelhetősége miatt inkább a kísérleti adatokra támaszkodó félempirikus módszerek alkalmazása az általános [2, 7].

A vákuum-fagyasztva szárítás során lejátszódó hő- és anyagátadás egy komplex és bonyolult folyamat. A kutatócsoportunk arra vállalkozott, hogy a Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Karán, az Élelmiszeripari gépek laboratóriumában található liofilizáló berendezést ellássa egy adatgyűjtő rendszerrel, mely alkalmazásával a dehidrált termékek száradási görbéjét pontosan fel tudtuk venni és általa a folyamatot modellezni.

2. A SZÁRÍTÓBERENDEZÉS ÉS AZ ADATGYŰJTŐ RENDSZER ISMERTETÉSE

2.1. Az Armfield FT33 laboratóriumi vákuum-fagyasztva szárító

Elsőként tisztáznunk kell a fagyasztva szárítás definícióját: A fagyasztva szárítás voltaképpen vákuum-szublimációs szárítás, amelynek során a nedvességet a megfagyott nedves anyagból 0 °C alatti hőmérsékleten, vákuumban szilárd halmazállapotba viszik át (szublimálják), és így vonják ki a nyersanyagból [5].

Az Armfield fagyasztva szárító egy kompakt egység, mely két kamrával rendelkezik. A kamrák belseje korrózióálló rozsdamentes acélból készült, és könnyen sterilizálható. Az egyik kamra 300 mm átmérőjű, és 370 mm mély, ezt munkakamrának nevezzük, itt kerül elhelyezésre a szárítandó nyersanyag. A kamrának átlátszó akril fedele van, hogy a munkafolyamatot meg lehessen figyelni. Ez a kamra 4 mobil hőszondával is rendelkezik, melyek alkalmasak az anyag hőmérséklet-változásának regisztrálására.

A szárítókamra közvetlen közelében egy 200 mm átmérőjű, és 150 mm mélységű kondenzátor kamra található, ahová a szublimációval elvont nedvesség kerül lefagyasztásra. A szárítási folyamat végén a fagyott rész leolvasztás után eltávolítható az ürítő szelepen keresztül.

A két kamra beépített kompresszoros hűtőrendszert, és egy hőmérséklet-szabályozós fűtőrendszert (elektromos fűtőszalag) is tartalmaz.

A nedvességelvonás kétfokozatú forgódugattyús vákuumszivattyú segítségével történik, mely olajköd szűrővel ellátott, így a folyamat teljesen környezetbarát. A szivattyú és a kamrák összekötése egy speciális csővel történik, amihez kapcsolódik a vákuummérzőkezelő.

A teljes rendszer szabályozása membránpanel érintésérzékeny kapcsolókkal történik és lehetővé teszi a hűtés, a vákuumpumpa, a fűtés és a felengedés vezérlését. A szárítási paraméterek változása – a szárítandó anyag hőmérséklete, a munkakamra hőmérséklete, a kondenzátor kamra hőmérséklete, a vákuumszivattyú nyomása – folyadékkristály kijelzőn nyomon követhető.

Mindemellett egy termosztatikus expanziós szelep automatikusan szabályozza a nedvességelvonás mértékét, így a nagy mennyiségű gőzt is lehet kezelni. Az egység el van látva mágneses kikapcsoló szelepekkel, elektromos túltöltő, és túlfűtő védelmi rendszerekkel.

A szárítóberendezést elsősorban biológiailag hőérzékeny anyagok dehidráálására tervezték, amelyeket poharakban vagy egyéb edényekben tárolnak. Tulajdonképpen az üzemi méretű élelmiszeripari berendezés kis másolatának felel meg.

A laboratóriumi fagyasztva szárító öt alapvető egységből épül fel, ezek az alábbiak: szárítókamra (munkakamra), jégkondenzátor, hűtő berendezés, fűtő berendezés és vákuumszivattyú (1. ábra).

További technikai paraméterek:

- A kondenzátor kamra jégkapacitása: 4 kg.
- Üresjárat hőmérséklet: -55 °C.
- A munkakamra hűtőközege: R507.
- A fűtés névleges teljesítménye: 300W.
- Elektromos áram: 220-240V/1ph/50Hz.
- A vákuumszivattyú szállítási teljesítménye: 120 l/min.
- A komplett berendezés tömege: 170 kg.

A nyersanyagot megmostuk, késsel szeleteltük, majd a megtisztított anyagot megfelelő méretűre vágtuk fel. A mintákat megmértük a mérlegen, ezután a laboratóriumi fagyasztva

szárító berendezés tálcájára terítettük vékony rétegben, felkészítve a vízelvonás műveletére.

2.2. Adatgyűjtő rendszer kialakítása a laboratóriumi fagyasztva szárítóhoz

A szárítás alatt lejátszódó folyamatok pontos elemzéséhez és modellezéséhez a laboratóriumi fagyasztva szárító berendezést elláttuk egy adatgyűjtő rendszerrel. Ennek az oka a következő:

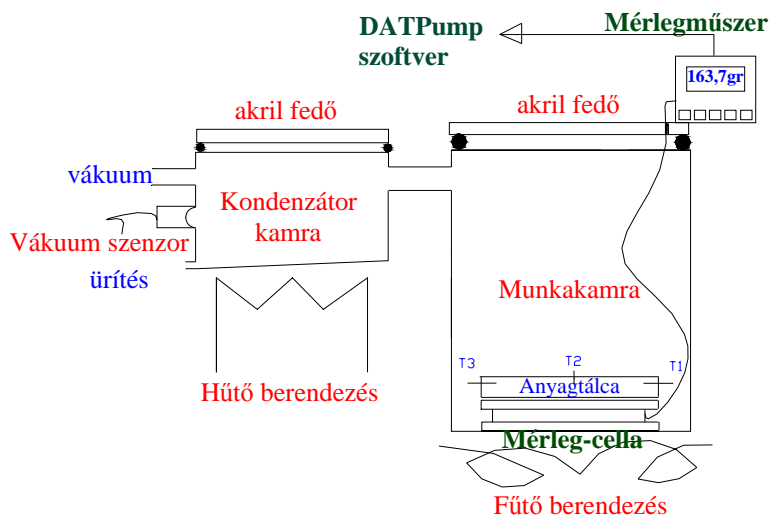
A szárítás során lejátszódó anyag-transzport folyamatok kutatásához elengedhetetlenül fontos a szárítandó anyag tömegcsökkenésének folyamatos regisztrálása. A nedvességváltozást pedig a tömegmérésből számítottuk ki, ez adja a száradási görbét.

A szárítandó anyag tömegének méréséhez a vákuum alatt lévő henger alakú szárítókamra aljára vastag fémlap közé szereltük az EMALOG Kft. által gyártott PAB-01 típusú mérlegcellát. Az adatkábel kivezetését pedig a kamra tetejét lezáró akril fedélen keresztül oldottuk meg. Nyomásnövekedést nem tapasztaltunk a munkakamrában, mert leszigeteltük a kábel kivezetésének helyét.

A platformcella egyébként megfelelő pontossággal mér a munkakamra szélsőséges hőmérsékleti értékeihez igazodva, hiszen a működési hőmérséklet-tartománya mínusz 45 és plusz 80 °C között mozog.

A tömegváltozás a külső térben elhelyezett ES-138 típusú mérlegműszerről olvasható le, mely a platformcellától kapja az analóg jeleket. Ez egy olyan jelfeldolgozó egység, ami a nyúlásmérő bélyeges mérleg-cellákhoz csatlakoztatható. A mérleg-cella jelét felerősíti és digitalizálja, minden feldolgozási lépés egy mikroprocesszorban digitálisan történik. Ez a megoldás méréstechnikailag eredményes volt, ugyanis sikerült úgy kalibrálnunk és beállítanunk a műszer elektronikát, hogy a zavaró hatások ne befolyásolják a mérés pontosságát. A szárítás művelete alatt ugyanis egyszerre két rázkódást okozó berendezés van működésben: a hűtőrendszer és a vákuumszivattyú, amelyek együtt zavaróan hatnak a tömegmérésre.

A mérlegműszert RS232 illesztőn keresztül kapcsolatba hoztuk a számítógépre telepített adatgyűjtő szoftverrel (DATPump), ami a mérés értékeinek megjelenítésére és konfigurálására alkalmas. A mérlegműszer valamennyi funkciója több módon állítható: a kezelőoldal billentyűzetével, illetve a számítógépes program segítségével. Ezáltal a számítógépre csatolva a program a beállításokat is megadja és lekérdezi az adatokat. Egy menüben lehet beállítani a mintavétel intervallumát, az adatgyűjtés indítását-leállítását, a jegyzőkönyv alakját és a nyomtatási jellemzőket [1].



1 ábra. Adatgyűjtő rendszerrel ellátott fagyasztva szárító berendezés

(Forrás: saját szerkesztés)

Az 1. ábrán látható a tömegmérő rendszerrel felszerelt laboratóriumi vákuum-fagyasztva szárító berendezés sematikus ábrája.

A mérőrendszer összeszerelését követően került sor a próbaüzemelésre, ahol üresen járattuk a szárítóberendezést, és megfigyeltük, hogy a vákuum és az alacsony hőmérséklet hogyan befolyásolja a tömegmérés eredményét. A későbbi méréseknél az adatgyűjtővel mért tömegértékekhez hozzáadtuk az üresjárat értékeit, így kaptuk meg a tényleges tömegmérés eredményét.

3. A VIZSGÁLT ANYAGOK NEDVESSÉGTARTALMÁNAK MEGHATÁROZÁSA

A megfelelően előkészített minta ismert mennyiségét 105 °C-on szárítószekrényben tömegállandóságig szárítottuk. A szárítószekrénybe behelyezett mintát 2 óra elteltével kivettük, exsikkátorban lehűtöttük és a tömegét analitikai mérlegen lemértük. A minta nedvességtartalmát %-ban, ismert összefüggés alapján számítottuk ki [3, 8].

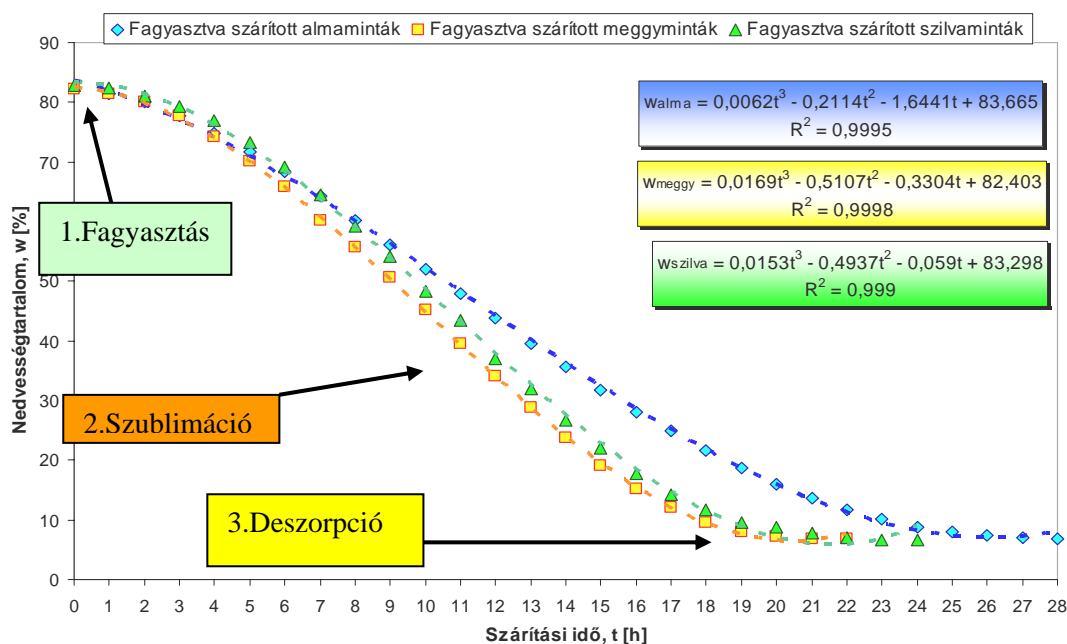
4. EREDMÉNYEK

A mérési eredmények grafikus megjelenítésére és összehasonlítására a Microsoft Office Excel 2003 táblázatkezelő programot használtunk.

A liofilizált anyagok száradási görbéire, szintén Excel program segítségével végeztünk függvényillesztéseket. A vízleadási folyamatot leíró görbére a legjobb illesztést harmadfokú polinom függvényekkel kapunk, ezt igazolta az $R^2=0,98-0,99$ értékű korrelációs koefficiens is.

Az almafajták ('Jonathan', 'Idared', 'Jonagold', 'Golden Delicious'), a meggyfajták ('Újfehértói fürtös', 'Kántorjánosi 3', 'Cigánymeggy') és a szilvafajták ('Cacanska leptica', 'Cacanska rana', 'President') mintáinak dehidrációját külön-külön és együtt is elvégeztük.

A 2. ábra ismerteti az egyidejű szárítást a fent felsorolt gyümölcsfajtáknál és az anyag átlagos nedvességtartalmának változását az idő függvényében.



2. ábra A vákuum-fagyasztva szárított minták száradási görbéje a vizsgált négy gyümölcsfajtánál

A gyümölcsfajták szárítási paramétereit az 1. táblázat mutatja be.

Megnevezés	Gyümölcsök		
	Almafajták	Meggyfajták	Szilvafajták
Nyersanyag nedvességtartalma	82,34%	81,44%	82,71%
Száritmány nedvességtartalma	6,5%	6,9%	6,62%
Száradási sebesség	2,7%/h	3,38%/h	3,17%/h
Száritási idő	28 h	22 h	24 h

1. Táblázat. A kísérletben vizsgált gyümölcsök szárítási paramétereit

A 2. ábra alapján a liofilizálás szárítás-kinetikai görbéje három szakaszra bontható. Az első az állandó sebességű szakasz az első kritikus nedvességtartalomig, ahol az anyag lassú felmelegedését követően egy lineárisan csökkenő jellegű szakasz jellemzi a nedvességtartalom csökkenését. Itt meg kell jegyezni, hogy a görbe jobban elnyúlik, nem olyan meredek, mint a hagyományos módszerrel szárított anyagokra jellemző száradási görbénél. A második szakasz kezdetét az anyag száradási sebességének csökkenése jelenti, melynek megjelenését a görbében az inflexiós átmenet jelzi. A nedvesség kellő mérvű eltávolítása után az anyagban más nedvességvezetési formák jutnak szerephez, a száradási sebesség az anyag szerkezeti felépítésétől függő módon csökken, és közeledik a konstans értékhez. A szárítási folyamat végét a végnedvesség elérése jelenti (3. szakasz).

Megnevezés	Együtthatók				Korrelációs koefficiens
	a [-]	b [-]	c [-]	k [-]	R ² [-]
<i>Gyümölcsök</i>					
Almafajták	0,0062	0,2114	1,6441	83,665	0,9995
Meggyfajták	0,0169	0,5107	0,3304	82,403	0,9998
Szilvafajták	0,0153	0,4937	0,059	83,298	0,999
<i>Zöldségek</i>					
Karalábé (Gigant)	0,005	0,1481	2,3582	80,971	0,9974
Burgonya (Desiree)	0,0026	0,0111	4,5966	81,017	0,9817
Paradicsom (Brillante)	0,0029	0,1057	2,2588	95,736	0,9987
Sütőtök (Nagydobosi)	0,0183	0,6643	2,4391	82,939	0,9989
Sárgarépa (Vörös óriás)	0,0229	0,8182	3,4362	82,29	0,9987
Torma (Bagaméri 93/1)	0,0182	0,5617	0,686	69,532	0,9981

2. Táblázat. A harmadfokú polinomok együtthatóinak és koefficienseinek átlagos értékei

Az ábra jobb oldalán található összefüggések a vákuum-fagyasztva szárított anyagok nedvességtartalom-csökkenését ábrázoló függvényekre illesztett görbék egyenletei. A mérési tapasztalataink szerint a liofilizált anyagok száradását leíró függvények harmadfokú polinomokkal adhatók meg a legpontosabb illesztéssel, az alábbi általánosítható összefüggéssel:

$$w = at^3 - bt^2 - ct + k, \quad (1)$$

ahol:

- w - a termék nedvességtartalma [%];
 t - a szárítási idő [h];
 a, b, c, k - a harmadfokú polinom állandó együtthatói [-].

A görbékre illesztett harmadfokú egyenlet állandó együtthatóinak és a korrelációs koefficiensek értékeit a 2. táblázat összegzi.

Az egyenlet állandó együtthatóinak értékei a kísérleteink alapján függenek a növény fajtájától, az érettségétől, a vízleadási hajlamától, a minták méretétől és a szárítás során alkalmazott paraméterektől (hőmérséklet, nyomás).

5. KÖVETKEZTETÉSEK

1. A vákuum-fagyasztva szárítóban – a berendezésben uralkodó vákuum miatt – nehezen oldható meg a száradó anyag tömegveszteségének nyomon követése, mely alapvető az anyagtranszport modellezéséhez. A szárítótér alján elhelyezett nyúlásmérő bélyeges mérlegcellával a liofilizált anyagok száradási görbéje felvehető és ezáltal pontosabb eredményt kapunk a szárítás alatt lejátszódó folyamatokról.
2. Megállapítottuk, hogy a liofilizálás gazdaságosságát elsősorban a szárítási idő csökkentésével lehet elérni. Ennek meghatározója: a szárítandó anyag vastagsága, kis rétegvastagság alkalmazása, az anyag lehűtésének mértéke (elég a kristályosodási pont alá, kb. -20 - 25 °C-ig), és az intenzív hőközlés (az anyag felengedése nélkül).
3. Összefüggéseket állapítottunk meg a liofilizált gyümölcsök és zöldségek szárítási folyamatainak jellemzésére, melyek matematikailag legpontosabban harmadfokú polinomokkal közelíthetők.
4. A függvényillesztéssel matematikailag leírt száradási görbéket a szárítási folyamat vezérlésénél és szabályozásánál felhasználva dehidrálnak a tartósítandó termékeiket a gyümölcs- és zöldségszáritással foglalkozó üzemek. Az általunk közölt paraméterek alkalmazásával a liofilizálás folyamata optimalizálható.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ANTAL, T., KERESKES, B.**, Establishment of a Data Processing System for Freeze Drier, VII. International Multidisciplinary Conference 7th Edition, BAIA MARE, 17-18 May 2007, Volume 1, p. 33-38.
- [2] **BEKE, J.**, A szárítási eljárások vizsgálata, [In: Beke, J. (szerk.) Terményszárítás.] Agroinform, Budapest, 1997., pp.147-150.
- [3] **FARKAS, J., FÖLDHÁZI, P., HARKAY, T., KORÁNY, K.**, Élelmiszer-analitika, Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem, Budapest, 1990., pp. 99-100.
- [4] **GINZBURG, A. SZ.**, Az energia- és nedvességátadás elméleti alapjai, [In: Élelmiszerek szárításelméletének és –technikájának alapjai.] Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1976., pp. 93-97.
- [5] **SATTLER, K.**, Fagyasztva szárítás, [In: Termikus elválasztási módszerek.] Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983., pp. 225-227.
- [6] **SITKEI, GY.**, Mezőgazdasági anyagok víztárolása, [In: A mezőgazdasági anyagok mechanikája.] Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981., pp. 78-83.
- [7] **TAMBUNAN, A. H.**, The Effects of Operation Condition on the Transport Properties, Heating Performance and Quality in a Freeze-Drying Process, Innovation of Agricultural Engineering Technologies for the 21st Century, 2000., pp. 1-9.
- [8] **MSZ EN 12145.** Gyümölcs- és zöldséglevelek, Összes szárazanyag meghatározása, Gravimetriás módszer a szárítási tömegveszteség mérésével. Magyar Szabványügyi Hivatal, Budapest, 1998.

A MATEMATIKAI MODELLEK BIZONYTALANSÁGAI

UNCERTAINTIES OF MATHEMATICAL MODELS

POKORÁDI László

egyetemi tanár
Debreceni Egyetem
pokoradi@mk.unideb.hu

Kivonat: A matematikai modellezés fő feladata valós fizikai, technikai jelenségek, folyamatok vagy rendszerek leírása és elemzése. A matematikai modellek felállításakor, illetve a kapott eredmények elemzésekor mindig számolnunk kell valamilyen fajtájú, valamint mértékű bizonytalansággal. A cikk a matematikai rendszermodellezés során fellépő bizonytalanságokat és azok elemzési módszereit, valamint az előadó ezen tudományterületen folytatott eredményeit mutatja be.

Kulcsszavak: modellezés, modell bizonytalanság, rendszertechnika

Abstract The main tasks of mathematical modeling are depicting and analyzing of real physical or technical phenomena, processes and systems. During mathematical modeling of real technical system we can meet any type and rate model uncertainty. The paper will show types of modeling and simulation uncertainties and methods used to investigate them and results of presenter's scientific researches related to field mentioned above.

Keywords: modeling, model uncertainty, system engineering

1. BEVEZETÉS

A matematikai modellezés fő feladata valós fizikai jelenségek folyamatok vagy rendszerek modelljeinek felállítása, azaz matematikai leírása. A modelleket és paramétereket a modellezett rendszer természete és a megkívánt pontosságú eredmény függvényében kell kiválasztanunk. A gerjesztések, valamint a belső jellemzők helyes feldolgozása biztosítja, hogy az eredményekben a rendszer valós tulajdonságai tükröződjenek. Ezért kritikus kérdés a megfelelő modell felállítása és a rendelkezésre álló adatok helyes feldolgozása. A mérnöki gyakorlatban a rendelkezésre álló információ gyakran nem kellően megbízható vagy pontos — inkább pontatlan, diffúz, fluktuáló, nem teljes, töredékes, megbízhatatlan, félreérthető, és főleg a nyelvi változók jelentős szubjektivitással bírnak. Ezeket az információkat főleg tervek, tervrajzok, mérések, megfigyelések, tapasztalatok, szakértői ismeretek, és előírások alapján nyerhetjük. Ráadásul, ezeket az adatokat a gyártás, üzemeltetés során bekövetkező emberi tévedések, hibák, illetve a környezet paramétereinek sztochasztikus változásai is befolyásolják. A fenti jelenségeket egy általános kifejezéssel tudjuk összegezni, ez a bizonytalanság [5]. A bizonytalanság elválaszthatatlan egy modelltől, a gerjesztésektől és a modellparaméterektől. A bizonytalanság elemzés információt ad a kapott válaszok hibahatáiról, a modell eredményeinek elfogadási szintjéről.

A rendelkezésre álló információk bizonytalansága megakadályozhatja a helyes modell, valamint pontos adatok, felesleges információk nélküli meghatározását. Ezért, a bizonytalanságot egy alkalmas modellel kell leírunk, mely összhangban van a fizikai rendszerről rendelkezésre álló információinkkal, és azt valamilyen numerikus módon oldjuk meg. Ebből a szempontból a hiányosságok torzított számítási eredményekhez, rossz döntésekhez vezethetnek.

A modellbizonytalanság elemzési eljárások módszertanát kiterjedt irodalom vizsgálja.

Ezek közül érdemes kiemelni FERNON és TUCKER [1], HELTON és DAVIS [2], illetve OBERKAPF et al. [4] munkáit. A Szerző témakörrel kapcsolatos gondolatait, eredményeit [5] könyvében összegzi.

A mai magyar repüléstudományi publikációkban is több tanulmány olvasható, mely a rendszer, és így a modellbizonytalanság hatásait — adott — szakmai szempontból elemzi.

ROHÁCS [6] tanulmányában az európai kisrepülőgép és a személygépkocsik jövőbeli teljes üzemeltetési költségbecslés végezte el. Elemzéséhez bizonytalan faktorokat talált, mivel az egyes költség elemek alakulása nem tisztázott, ezért Monte-Carlo szimulációt alkalmazott.

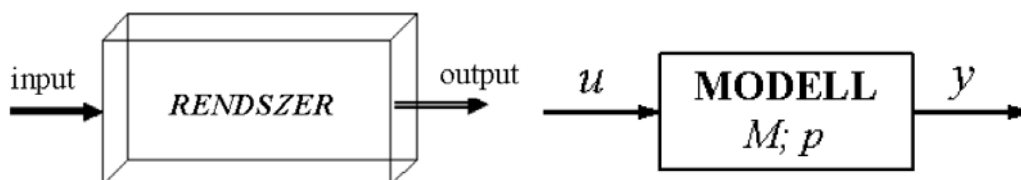
SZABOLCSI [7] cikkében az érzékenységvizsgálat matematikai alapjaival, és szabályozástechnikai alkalmazásaival, és ezen belül egy hipotetikus, kísérleti repülőgép feltételezett matematikai modelljével, és feltételezett irányítási rendszerének érzékenységvizsgálatával foglalkozik. Megállapítja, hogy dinamikus rendszer érzékenységét a rendszerdinamikában bekövetkező változásokra, és a visszacsatoló ágon (érzékelő) bekövetkező változásokra bonthatjuk. Ezen eltérések — azaz paraméterbizonytalanságok — lehetséges okaiként a rendszeröregedését, vagy elhangolódását határozza meg.

A cikk a matematikai rendszermodellezés során fellépő bizonytalanságokat és azok elemzési módszereit, valamint az előadó ezen tudományterületen folytatott eredményeit mutatja be.

A cikk az alábbi fejezetekből áll: A 2. fejezet a modellbizonytalanság forrásait mutatja be. A 3. fejezet ismerteti modellalkotási bizonytalanság elemzési módszereit. A 4. fejezetben összegzi munkáját és jövőbeli kutatási terveit körvonalazza a Szerző.

2. A MODELLBIZONYTALANSÁG FORRÁSAI

A modell a valóságos rendszer egyszerűsített, a vizsgálat szempontjából lényegi tulajdonságait kiemelő mása. A modell mindazon másodlagos jellemzőket elhanyagolja, amelyeket a kitűzött vizsgálat szempontjából nem tekintünk meghatározónak (1. ábra).



1. ábra Rendszer és modell (forrás: [5])

A matematikai modell mindig rendelkezik

- M — szerkezettel (például lineáris; diszkrét értékű, sztochasztikus stb.);
- p — belső paraméterekkel (például az arányossági tényezők, vagy konstansok);
- u — bemenő (input) jelekkel

melyekre y kimenő jellel (függő változókkal) reagál.

A bizonytalanság elemzési módszerek értelmezéséhez először írjunk fel egy

$$\underline{y} = f(\underline{x}) \quad (1)$$

általános modellt, ahol:

\underline{y} — függő változók vektora;

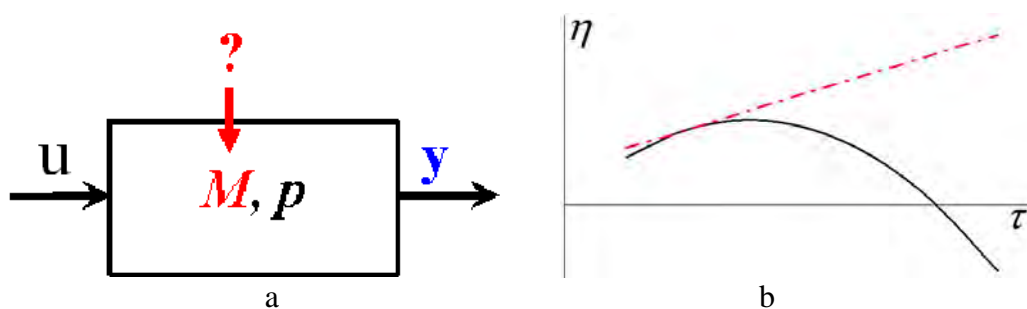
\underline{x} — független változók vektora, mely magába foglalja a p belső paramétereket és az u bemenő (input) jeleket.

A bizonytalanság — annak forrása alapján történő — osztályozása megkülönböztet parametrikus (angol nevén: „aleatory uncertainty”, illetve a modern szabályozástechnikában inkább a „parameter uncertainty”) és ismereti (epistemic uncertainty) bizonytalanságot.

Az ismereti bizonytalanság forrása általában az ismeretek vagy információk hiánya, mely megakadályozhatja a modell helyes felállítását és a természet általános megfigyelési rendszereinek meghatározását, azaz a modell M szerkezetét (2.a ábra).

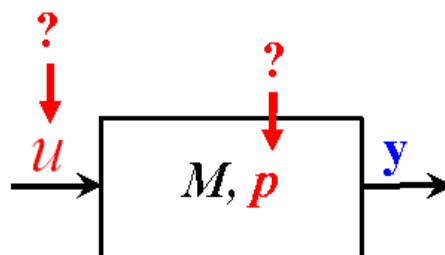
Az ismereti bizonytalanságot — az (1) függvényre utalva — az f függvény helytelen felvételének tekinthetjük — hiányos ismeret vagy rosszul megválasztott egyszerűsítések következtében. Legegyszerűbb példának vehetjük egy nem lineáris folyamat lineáris modellezését, amit a 2.b ábra szemléltet.

Az ismereti bizonytalanság gyakorlati („mérnöki”) főbb forrásai lehetnek: nem megfelelő ismeret a vizsgált rendszerről és környezetéről, a fizikai törvények helytelen alkalmazása, inkorrekt modellegyszerűsítések, linearizáció.



2. ábra Ismereti bizonytalanság

A parametrikus bizonytalanság elsődlegesen az objektivitáshoz kapcsolható, szemben az ismereti bizonytalansággal, mely az objektivitáshoz és szubjektivitáshoz egyaránt köthető, esetileg külön-külön, illetve egyszerre. Azaz a parametrikus bizonytalanság oka vagy a külső, input vagy a modell (rendszer) belső paramétereinek ingadozásai. Következésképpen, a parametrikus bizonytalanság megfelelő módszerekkel modellezhető és feldolgozható.



3. ábra Parametrikus bizonytalanság

Ismét az (1) egyenletre hivatkozva ez a bizonytalansági forma az \underline{x} vektor elemei

értékeinek ingadozását, illetve azok következményeit jelenti.

A parametrikus bizonytalanság gyakorlati („mérnöki”) főbb forrásait az alábbiakban foglalhatjuk össze: gyártási, üzemeltetési paraméter eltérések; elöregedés; elhangolódás; helytelen kvantálás; pontatlan mérés; mérési zaj; helytelen (statisztikai) adatfeldolgozás; nyelvi változók alkalmazása.

3. BIZONYTALANSÁG ELEMZÉSI MÓDSZEREK

A parametrikus bizonytalanság tudományos szintű elemzése alapvetően két eltérő módon oldható meg [1]. A 4. ábra a fent említett lehetséges elemzési módokat, benne a nyilak a módok fejlődését szemlélteti.

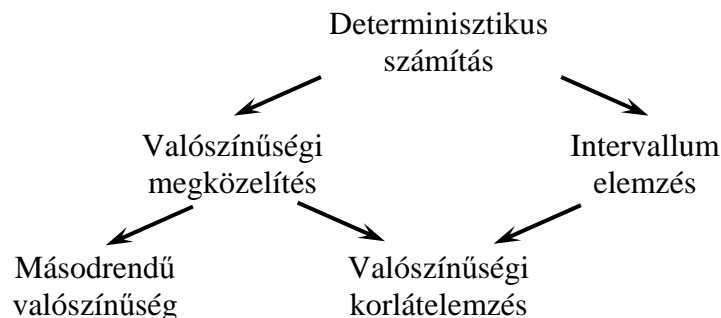
A független változók értékeinek bizonytalanságát, ingadozását jellemezhetjük a

$$\underline{d}_x^T = [d_{x1}; d_{x2} \dots d_{xn}] \quad (2)$$

eloszlásvektorral, melynek elemei a függő változók eloszlás függvényei, illetve a

$$\underline{i}_x^T = [i_{x1}; i_{x2} \dots i_{xn}] \quad (3)$$

intervallumvektorral, melynek elemei a függő változók értékintervallumai.



4. ábra Az eltérő bizonytalanságelemzési módok ([1] alapján)

Az első mód a gerjesztések bizonytalansága következtében fellépő lehetséges rendszerválaszok meghatározása intervallum értékekkel. Ezen eljárási mód annak figyelembevétele, hogy néhány vagy az összes paraméter nem egy adott értékkel rendelkezik, hanem bizonyos intervallumon belül található. Általános megfogalmazásuk esetén az intervallumokhoz nem kapcsolunk valószínűségi eloszlásokat, csak a lényegi eredmények — rendszer kimenő jelei értékeinek — lehetséges jövőbeli értékeit határozzuk meg a

$$\underline{i}_y = f_i(\underline{i}_x) \quad (4)$$

függvény meghatározásával. Ahol az f_i függvény az (1) egyenlet f függvénye alapján határozható meg. Számos esetben előfordul, hogy az adott problémát egy lineáris matematikai modellel tudjuk elemezni, de az együtthatók és a paraméterek valamilyen szintű bizonytalansággal, így egy intervallummal bírnak. Az

$$\underline{\underline{A}}\underline{x} = \underline{b} \quad (5)$$

alakú lineáris rendszereket, ahol az $\underline{\underline{A}}$ együtthatómátrix, illetve \underline{b} vektor elemei intervallumok, lineáris intervallumrendszereknek nevezzük [3].

A másik alapvető módszer a környezet gerjesztéseinek minden lehetséges eleméhez való valamilyen valószínűségi eloszlás rendelése és ez alapján a rendszer kimenő jellemzői

$$\underline{d}_y = f_d(\underline{d}_x) \quad (6)$$

valószínűségi eloszlásainak meghatározása. Ekkor az f_d függvényt az (1) egyenlet f függvénye alapján határozzuk meg. Ha az adatok valószínűségi eloszlásai ismertek, elméletileg mindegyik alternatíva következményeinek eloszlását is megtudhatjuk. Ez egy egyszerű kritérium esetén a vizsgált rendszer vagy folyamat kvalitatív tulajdonságának valószínűségi eloszlását jelenti.

A valószínűségi módszerek egyike a Monte Carlo szimuláció. A Monte-Carlo szimulációs módszert NEUMANN JÁNOS dolgozta ki 1945-ben. Lényege, hogy az egyes bizonytalan tényezőkhöz rendelt valószínűség-eloszlások alapján véletlenszerűen választunk ki értékeket, amelyeket a szimulációs vizsgálat egy-egy kísérletében felhasználunk. Monte-Carlo módszereknek nevezzük a matematikai feladatok megoldásának véletlen mennyiségek modellezését felhasználó numerikus módszereit és azok jellemzőinek statisztikus értékelését. A Monte-Carlo egy olyan matematikai eszköz, mely alkalmas arra, hogy véletlen események sorozatával oldjunk meg determinisztikus problémákat.

Az „egyszerű” valószínűségi eloszlásfüggvények egyik „hibája”, hogy értelmezési tartományuk a két végtelen érték között található. Ez nem teszi lehetővé csak a műszaki gyakorlatban előforduló, reális — adott intervallumon belüli — értékek vizsgálatát. A fenti probléma megoldására alkalmazhatjuk a valószínűségi korlátelemlést, amikor korlátozási megközelítést a alkalmazunk valószínűségi számításokhoz. A fentiek alapján leírva egyszerre határozzuk meg a gerjesztések eloszlásai és intervallumai függvényében a rendszer outputjainak eloszlásait és intervallumait:

$$\begin{bmatrix} \underline{d}_y \\ \underline{i}_y \end{bmatrix} = f_{di} \left(\begin{bmatrix} \underline{d}_x \\ \underline{i}_x \end{bmatrix} \right) \quad (7)$$

A valószínűségi korlátelemlésre legegyszerűbb példának vehetjük az úgynevezett háromparaméteres Weibull eloszlás alkalmazását, amikor az úgynevezett küszöb paraméter korlátozza a valószínűségi változó minimális értékét.

Nem ritka, hogy az úgynevezett szubjektív valószínűségekkel találkozunk, ami a szakértők (vagy bizonyos esetekben a laikusok) által becsült valószínűségi értéket jelent. Ha az adatok száma nem elegendő a statisztikai elemzésekhez, így a valószínűség számítás alkalmazásához, analógiák alapján fel lehet tételezni az eloszlás jellegét, de ennek már szubjektív jellege van. Ilyen modell bizonytalanság elemzés esetén úgynevezett másodrendű bizonytalansági modellekről beszélünk, melyeket általánosan az alábbi formában írhatjuk fel:

$$\underline{d}_y = f_{dd}(\underline{d}_x) \quad (8)$$

ahol:

$$\underline{d}_x^T = [d_{x1}; d_{x2} \dots d_{xn}] \quad (9)$$

vektor, melynek elemei a bemenő jelek eloszlás-paramétereinek eloszlásfüggvényei. Ebben az esetben az (1) egyenlet f függvénye alapján kell meghatároznunk az f_{dd} függvényt.

Egy viszonylag új út a kiegészítő információk bizonytalansági modellekbe történő beépítésére a fuzzy halmazelmélet alkalmazása, amikor nem statisztikai adatokkal rendelkezünk az adatokkal kapcsolatos szakértői vélemények kvalitatív leírásai vagy az alternatívák következményeinek értékelésére.

4. ÖSSZEFOGLALÁS, JÖVŐKÉP

A matematikai modelltől elválaszthatatlan annak valamilyen formájú és mértékű bizonytalansága. A modell bizonytalanságát — az alkalmazhatóságának értékelése érdekében — elemezni kell.

Az utóbbi években a Debreceni Egyetem Műszaki Karán intenzív kutatómunka folyik annak feltárása céljából, hogy a széles értelemben vett modellezés bizonytalanság kezelés milyen módon oldható meg a leghatékonyabb formában — a karbantartás-menedzsment területén. Ezzel egy időben fontos feladatként fogalmazódott meg ezen eljárások egyszerű szemléltetése BSc, MSc és PhD képzések különböző tantárgyai oktatásakor.

A Szerző munkája során olyan tanulmányok elkészítését tűzte ki célul, amelyek leírják a modellalkotási bizonytalanságokat, értelmezik, vizsgálják és szemléltetik a matematikai modellek bizonytalanságainak elemzési módszereit.

Jelen sorok írója jövőbeni tudományos tevékenységét az alábbiakban fogalmazza meg:

- parametrikus bizonytalanság valószínűségi elemzési módszereinek kidolgozása, ha a bemenő jellemzők nem függetlenek egymástól;
- parametrikus bizonytalanság elemzési módszereinek további vizsgálata;
- a modellek ismereti bizonytalanságának fuzzy halmazelméletre épülő elemzése.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **FERSON S. - TUCKER W. T.**, Sensitivity Analysis Using Probability Bounding, Reliability Engineering & System Safety 91 (2006) 1435–1442
- [2] **HELTON, J.C. - DAVIS, F.J.**, Latin Hypercube Sampling and the Propagation of Uncertainty in Analyses of Complex Systems, Reliability Engineering & System Safety 81 (2003) 23-69.
- [3] **MUZZIOLI, S. – REYNAERTS, H.**, Fuzzy linear systems of the form $A_1x + b_1 = A_2x + b_2$, Fuzzy Sets and Systems 157 (2006) 939 – 951
- [4] **OBERKAMPF, V.A. - HELTON, J.C. - JOSLYN, C.A. - WOJTKIEWICZ, S.F. - FERSON, S.**, Challenge Problems: Uncertainty in System Response Given Uncertain Parameters Reliability Engineering & System Safety 85 (2004) 11–19.
- [5] **POKORÁDI L.**, Rendszerek és folyamatok modellezése, Campus Kiadó, Debrecen, pp.242. (ISBN 978-963-9822-06-1)
- [6] **ROHÁCS D.**, Kisrepülőgépek elérhetőségének hosszú távú előrejelzése, Repüléstudományi Közlemények, 2007/2, Különszám, pp. 8
- [7] **SZABOLCSI RÓBERT**, Dinamikus rendszerek érzékenységvizsgálata, Villamos gépek, hajtások, villamosenergia-szolgáltatás, villamosipari és épületvillamossági berendezések 2010, (ISSN: 1587-6853). p.5–10.

KARBANTARTÁS, KÖLTSÉGEK, GAZDASÁGOSSÁG

MAINTENANCE, EXPENSES, THRIFT

Dr. VERMES PÁL

főiskolai tanár

Szolnoki Főiskola, Műszaki Tanszék

vermes@mfk.hu

Kivonat: A karbantartással szemben támasztott követelmények között a gazdasági szempontok is közvetlenül vagy közvetve hangsúlyosan jelen vannak. A karbantartás a termelés/szolgáltatás egyik feltételi folyamata, emiatt a termelés/szolgáltatás eredményéhez történő hozzájárulásának reális számbavétele elvi-módszertani problémákat vet fel. A cikk a jellegzetes karbantartási problémák gazdasági kezelésére alkalmazható néhány módszert érint, amelyek nemcsak a karbantartás „közvetlen” költségeivel, hanem rendszerhatásaival is számolnak.

Kulcsszavak: karbantartás, költségek, gazdaságosság, módszerek

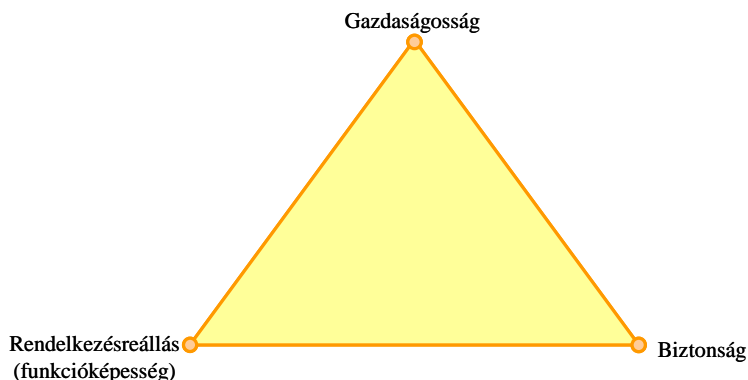
Abstract: Economy viewpoints whether directly or indirectly emphasised are also present among the requirements stipulated for maintenance. Maintenance is the process of one of the conditions of production/service; this is why the real review of the contribution to the efficiency of production/service brings forth the principle-methodical problems. The article touches upon some methods applicable to the economic treatment of the significant maintenance problems, which deal not only with the “direct” expenses of maintenance, but also with its system impacts.

Keywords: maintenance, expenses, thrift, methods

1. A KARBANTARTÁS ÉS A VELE SZEMBEN TÁMASZTOTT ALAPKÖVETELMÉNYEK

A karbantartás az eszközök (megközelítésünkben elsősorban a termelő gépek, berendezések) adott feladat ellátására vonatkozó alkalmasságát, vagyis funkcióképességét biztosítja. A karbantartás természetesen nem önálló, hanem a termelés egyik feltételi folyamata.

A **funkcióképesség** elérése, vagyis a folyamatos rendelkezésreállítás érdekében **karbantartási rendszer** létrehozása és működtetése szükséges. A karbantartási rendszer gyakorlati szempontból a karbantartáshoz szükséges erőforrások (eszközök, anyagok, munkaerő, információ, pénz, stb.), műszaki-szervezési dokumentációk, valamint az adott géppark funkcióképessége fenntartásához szükséges intézkedések rendjére (jellegére, időpontjára, gyakoriságára, stb.) vonatkozó, a stratégiai elgondolások megvalósítását célzó tervek összessége. [1]



1. ábra Alapkövetelmények a karbantartással szemben

Az 1. ábra szerinti elrendezésből stabilitás és egyensúly érződik: normál kockázatú esetben a gazdaságosság egyenrangú **követelmény**. Átmenetileg vagy tartósan akár a funkcióképesség, akár különösen a biztonság előtérbe kerülhet a gazdaságosság rovására.

A karbantartás gazdaságosságának kérdésköre a szakirodalomban is gyakran jelen van, bár az alapvető gond fennmarad: a karbantartás ráfordításai egyértelműen mérhetők, de a cég eredményéhez való hozzájárulását tekintve a teljesítménye már kevésbé. Ebből is ered, hogy a karbantartást egy cégen belül általában „csak” költségcentrumként működtetik.

2. A KARBANTARTÁS SZÍNVONALA ÉS BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐI

a) Tendenciák egy nemzetközi felmérés alapján

A karbantartási alapkövetelményekben is testet öltött szemlélet az értékteremtés folyamatában fontos pozíciót jelöl ki a karbantartás számára. Többféle, általában korábbi időszakot tükröző felmérések születtek a világban a karbantartás helyzetének elemzéséről.

Egyik tanulmány szerzői az Egyesült Királyság kormányától kapott megbízás alapján karbantartási **benchmarking elemzést** végeztek nemzetközi méretekben a munka során kidolgozott AMIS (asset management information service) módszer segítségével. A vizsgálat [2] nem tanúskodik a karbantartás hatékonyságának egyértelmű javulásáról. 100 pontos skálán értékelték a következő szempontokat: általános színvonal, szervezés és adminisztráció, tervezés- és ellenőrzés, költség-kezelés, termelékenység, képzés és biztonság, hibaelemzés. Az 1988-2000 közötti időszakot vizsgálva a karbantartás hatékonyságára 40-50 közötti értékeket mértek, a tendencia 1996-ot követően inkább csökkenést mutat.

Felemás a karbantartási rendszerek és módszerek megítélése is. Javult a kritikus berendezések és folyamatok meghatározása (10 % → 45 %), a számítógépes rendszerek bevezetése az irányításban (35 % → 50 %), a kopás-előrejelzési technológia alkalmazása (20 % → 45 %). Ugyanakkor nincs számottevő javulás a berendezések teljesítményében (79 % → 82 %) és üzemképességében (85 %).

A 300 vállalat megkérdezésének eredményeiből választ kaptak arra, hogy a többi szakmai terület hogyan értékeli a karbantartást. Míg 1990-ben a karbantartással való elégedetlenség fő oka a túl kevés tervszerű karbantartás volt, addig 2000-ben a termeléssel kialakult konfliktus lépett az első helyre. Ez annak a következménye lehet, hogy növekedett a gépek használati időtartama, amely lecsökkenti a karbantartás számára szabadon kezelhető időtartományt.

A karbantartás mutatószámokkal történő értékelése során az iparban átlagosan a gyártási költségek 9 %-át, a forgalmi érték 3 %-át (az összes vizsgált vállalat átlagában 6,34 %-át) fordítják karbantartásra, a tervezett karbantartási rendelkezések aránya 58 %, és 3,3 fő termelésben foglalkoztatottra jut egy karbantartó (a legjobb gyakorlat esetén ez a szám 12 fő). [2]

Az összes vállalat vizsgálatából arra következtettek, hogy a karbantartási költség aránya a forgalmi érték százalékában függ a karbantartás hatékonyságától, színvonalától: ahol nagy a hatékonyság, nagy (8,24 %), ahol gyenge, ott kicsi (3,75 %) az arány. Ugyanígy a kép a hasznos üzemidő vizsgálatakor: 95 %-ot elérő hasznos üzemidő esetén 7,59 %, 78 %-nál kisebb hasznos üzemidő esetén 4,23 % a karbantartási költség aránya. [2]

A meghibásodásokon alapuló (eseti, „tűzoltó”) karbantartási stratégiát alkalmazó vállalatok részaránya jelentősen csökkent (61 % → 25 %). A számítógépes karbantartást alkalmazó vállalatok aránya nőtt mind a 250 fő alatti (41 % → 51 %), mind a 250 fő dolgozónál nagyobb létszámú vállalatok (67 % → 72 %) esetében. A minden berendezésre külön költségadatokat gyűjtő vállalatok aránya nőtt (22 % → 42 %), ugyanakkor csökkent azoknak a vállalatoknak az aránya, amelyek nem rögzítenek semmiféle karbantartási adatot (29 % → 7 %).

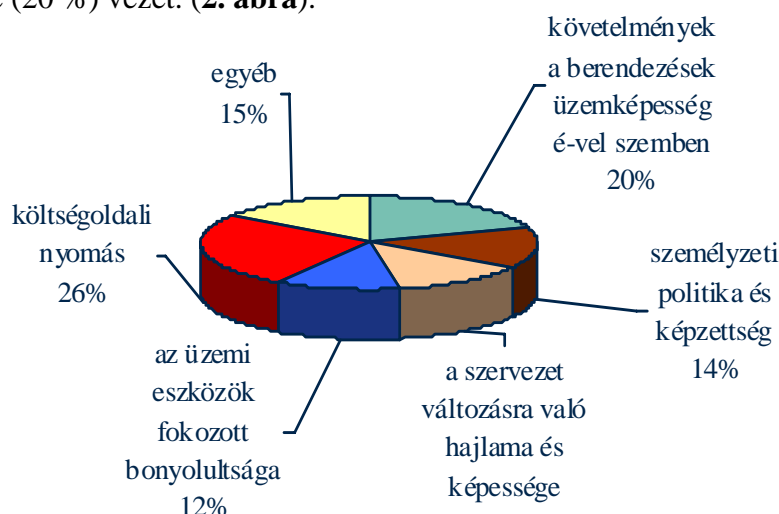
Jelentősen növekedett – legalább a kritikus berendezésekre vonatkozóan – a teljes élettartam-költségek nyilvántartását végző vállalatok aránya (2 % → 27 %). Ma már csak a vállalati-

tok 19 %-a nem ad ki külső vállalkozásba semmiféle karbantartási feladatot. Eléggé megdöbentő, hogy a vizsgált vállalatoknak csak 3 %-a dolgoz ki közös termelési és karbantartási tervet. [2]

A vizsgálat eredményeiből a tendenciák elég markánsan kirajzolódnak. Valószínűsíthető, hogy a hazai viszonyokra is – még ha időeltolódással is – ezek lesznek jellemzők.

b) A karbantartási költségek szerepe

Gyakorlati tapasztalatok és kutatások eredményei azt mutatják, hogy a karbantartást érintő kérdésekben elsődlegesen a **karbantartási költségek** alapján döntenek. Az Aacheni Műszaki Egyetem Racionalizálási Kutatóintézete 2000-ben, 27 német és 31 osztrák vállalatra **kérdőíves felmérést** végzett. [3] Ebből kiderült, hogy a karbantartást leginkább befolyásoló tényezők között változatlanul a karbantartási költség (26 %) és kézenfekvően a berendezések üzemképessége (20 %) vezet. (2. ábra).



2. ábra A karbantartást befolyásoló tényezők

A karbantartás költségkeretének akár a vezetés által diktált megállapítása és ennek betartására történő rászorítás általánosan alkalmazott módszer. A karbantartás ilyenkor szigorú költséggazdálkodásra, általában túlzott megtakarításra (sokszor a kockázatok növelésére) kényszerül. Szakmailag a forrásokhoz igazodó karbantartási rendszer kialakítása és működtetése a feladat. A cégek menedzsmentjének ez a kezelésmód többnyire megfelelő, hiszen alkalmas a költségek mindig kívánatos lefaragására.

Természetesen más megközelítések a vállalat egésze számára – részben sajnos csak hosszabb távon – kedvezőbbek lehetnek. Az eszköz **teljes életciklusa** alatti **költségek** vizsgálata a beruházásokban való döntést alapvetően befolyásolhatná. Egy svájci esettanulmány szerint egy 16 km-es autópálya-szakasz kivitelezési költsége 800 millió CHF, a 100 éves életciklus alatti teljes ráfordítása pedig 7 milliárd CHF. [4]

A szakirodalomból ismert vizsgálatok megkísérelték a karbantartás által befolyásolható tényezők és a termelés kapcsolatát meghatározni:

- melyik karbantartási rendszer a legkedvezőbb egy rugalmas gyártócella kibocsátására [5];
- a rendelkezésreállás hatása a cég termelékenységére [6];
- amerikai kutatók egy hipotetikus cég vizsgálatából megállapították, hogy ha az éves teljes állásidő az elfogadható (3,5 %) szintről 1,5 %-ra csökken, a cég az éves üzemidő 95 %-ában termelni tud. [7]

Szakirodalmi források, elvi megfontolások és gyakorlati tapasztalatok alapján kijelenthető, hogy csak a karbantartás „közvetlen” költségeinek meghatározása, minimalizálása nem elegendő, ez a szemlélet szűk látókörű döntésekhez vezet. Kézenfekvő az **állásidők** hatásának a számszerűsítése és bevonása is a karbantartási költségek megtervezésébe, értékelésébe.

3. A GAZDASÁGI SZÁMÍTÁSOK CÉLJA ÉS ÁLTALÁNOS FELTÉTELEI

A részletek [8] mellőzésével csak rögzíteni kívánjuk:

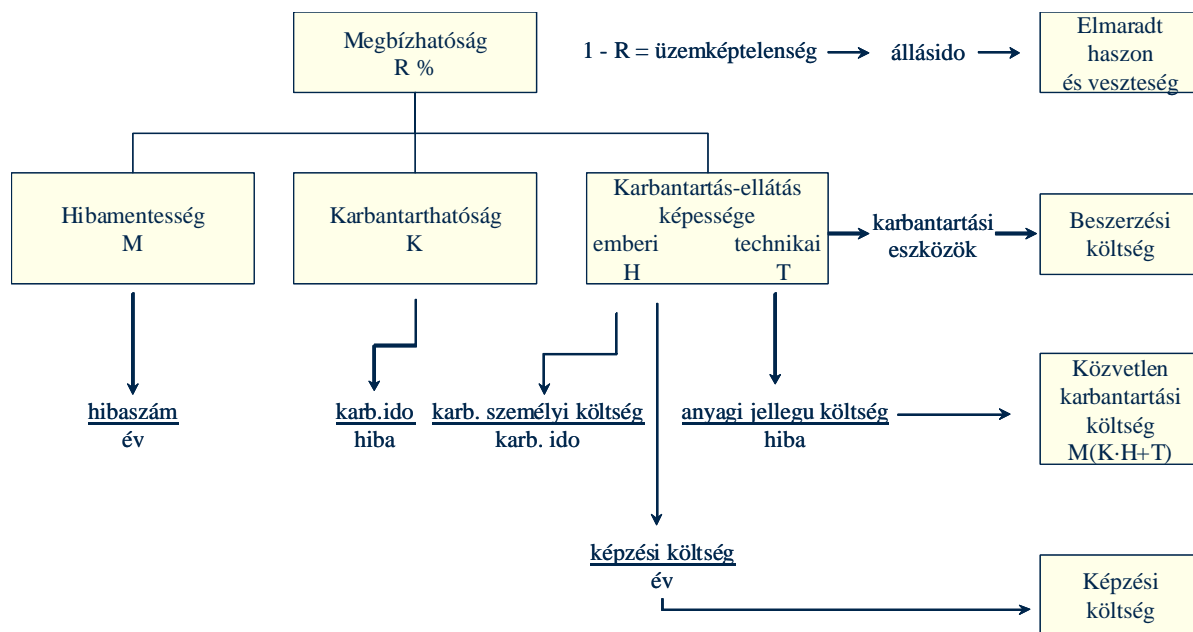
- A gazdaságossági megítélés **célja** megalapozott, elfogadható kockázat mellett döntéseinkben helyesen orientáló számítások végzése.
- A számítások **általános feltételei**: konkrét szakmai ismeretek, világos célkitűzések, megfelelő adat és információ, gazdasági módszerek ismerete, alkalmazási készség.

A továbbiakban a módszerekre helyezzük a hangsúlyt. A probléma megoldásához a **megfelelő módszer** kiválasztása az egyéb feltételek (például a szükséges adatok) figyelembevételével történik, és döntéseinknél a kapott eredményeket, valamint más, a modellben nem szereplő szempontokat együttesen mérlegeljük.

4. KARBANTARTÁSI KÖLTSÉGMODELLEK ÉS TIPIKUS SZÁMÍTÁSOK

a) A karbantartás rendszermodellje

Az Ahlmann-féle modell aktualizálásával (az érvényes megbízhatóság-fogalom figyelembevételével) készített gazdasági modell a karbantartásra a 3. ábrán látható.



3. ábra A karbantartás gazdasági rendszer-modellje

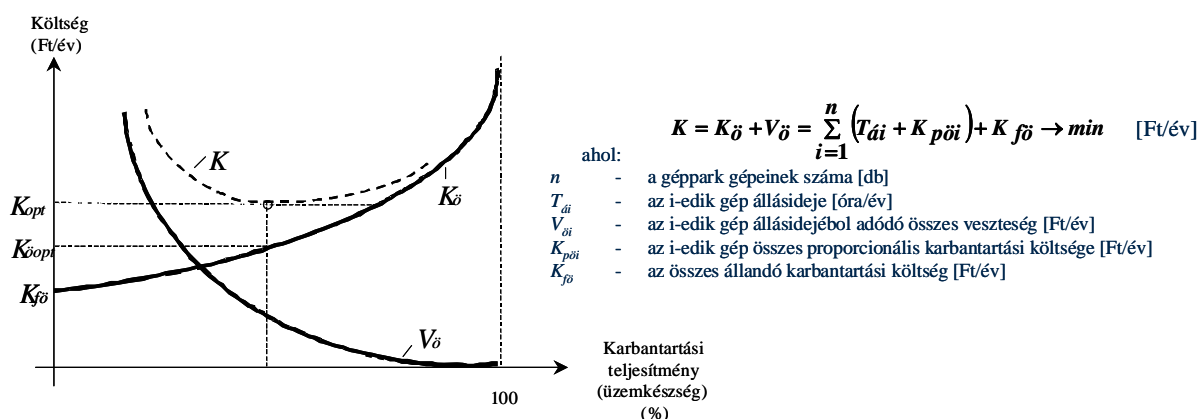
A rendszermodell jól kifejezi, hogy a rendelkezésreállítás milyen egyszeri és folyamatos költségeket, illetve a rendelkezésreállítás növelése (például piacbővülés miatt) mekkora pótlólagos ráfordításokat igényel.

b) Az optimális karbantartási költség

A tényleges karbantartási költségek meghatározására a költség- és nyereségfedezeti számítás

alkalmazható: a karbantartási költségek a karbantartás mennyiségében és minőségében bekövetkező változásra való reagálás szerint állandó és arányos költségekre bonthatók. A 100 %-os üzemkészség zérus kiesési veszteséget jelent, ami elméletileg végtelen nagy karbantartási ráfordítással érhető el (4. ábra).

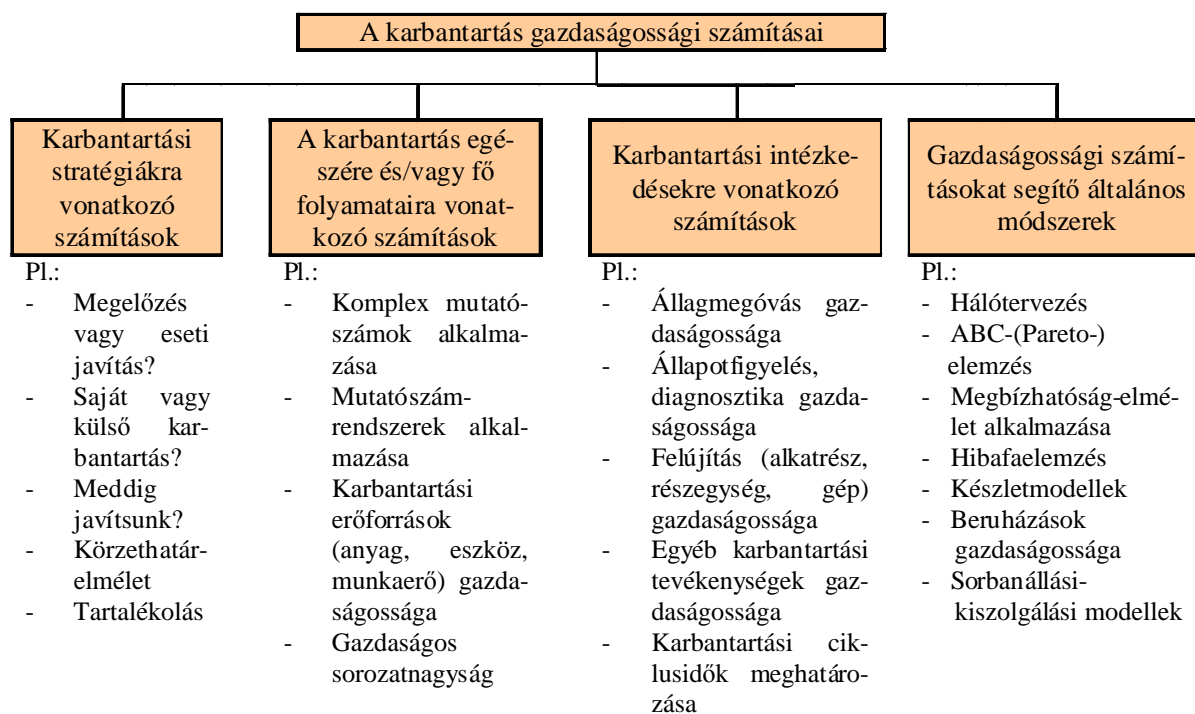
Az optimális karbantartási költség az összes (karbantartási és állásidőből származó) költség minimuma alapján határozható meg, és nem lehet törekedni gazdasági szempontból a termelő berendezések megbízhatóságának mindenáron történő növelésére.



4. ábra Az optimális karbantartási költség

c) Tipikus karbantartási problémák és gazdasági jellegű számítások

Az 5. ábra összefoglalja a karbantartással kapcsolatos fő probléma-csoportokat és nem teljes körűen, csak példálózó jelleggel az egyes – főként gazdaságossági vagy gazdasági kihatású – számítási eljárásokat.



5. ábra Jellegzetes karbantartási probléma-csoportok (8)

A számítási eljárások nagyrészt általános gazdaságtani és szakmai ismeretek körébe tartoznak, így adaptációt igényelnek, más részük karbantartási eredetű.

5. NÉHÁNY GAZDASÁGOSSÁGI SZÁMÍTÁSI MÓDSZER

a) A felújítás gazdaságosságának megítélése

Módszertani szempontból egyszerű probléma a felújítás gazdaságosságának számítása, amely alkatrésze, részegységre, komplett gépre elvben ugyanaz. Az ismert **Kazarcev-féle összefüggésből a felújítás gazdaságossági tényezője:**

$$g = \frac{A_o}{T_o} \cdot \frac{T_f}{A_f}; \text{ gazdaságos a felújítás, ha } g > 1 \quad (1)$$

ahol:

A_o - az új alkatrész ára (Ft/db)

A_f - a felújított alkatrész ára (költsége) (Ft/db)

T_o - az új alkatrész átlagos élettartama (üzemóra/db)

T_f - a felújított alkatrész átlagos élettartama (üzemóra/db)

Indokolt lehet, hogy konkrét esetekben a számításba a maradványértékeket és az állásidőket is bevonjuk az élettartamokon kívül. [10]

b) A karbantartás hatékonyságának értékelése komplex mutatókkal

Számos kísérlet történt a karbantartás egészének megítélésére alkalmas **egyetlen mutatószám** kialakítására. Ennek realitását általában vitatják, mégis születtek ilyen megoldások, mert alkalmazásának kétségtelen előnyei vannak. Egyik ilyen összefüggés az ismert **Corder-féle képlet** [10], amely költség és időadatokat tartalmaz, vagy a másik a csak időelemekkel számoló speciális készenléti tényező.

c) Karbantartási rendszerek közötti választás

Két (1-es és 2-es jelű) karbantartási rendszer közötti választásnál módunk van az állásidők hatását figyelembe venni:

$$g = \frac{K_1 + V_1}{K_2 + V_2} \quad (2)$$

ahol:

K_1 és K_2 - a karbantartási rendszerek működésének összes „közvetlen” költsége [Ft/év]

V_1 és V_2 - a karbantartási rendszerek alkalmazásával „elért” nem tervezett hibák miatti állásidő vesztesége és elmaradt haszna [Ft/év]

ha $g < 1$, akkor az 1. karbantartási rendszer alkalmazandó.

A számításhoz több éves adatok (adatsorok) használata előnyös.

d) Az ÁKFN-struktúrán alapuló szimulációs gazdasági számítások

A számítás azon alapszik, hogy egy gazdálkodó szervezet – amelyre az ár-költség-fedezetnyereség-, az ún. ÁKFN-struktúra ismert vagy meghatározható – végső soron a nyereség-output változásával reagál a rendszerbe történő beavatkozásra, például a karbantartási rendszerben végrehajtott módosításra. A számítás olyan **szimulációs modellel (1. táblázat)** végezhető el, amely a **beavatkozás gyűrűződő rendszerhatásait** a hatások számszerűsítése, az

ÁKFN-komponensekkel kapcsolatba hozatal, az új struktúra meghatározása és egyéb lépések révén mér, és gazdaságilag kezelhető, értelmezhető mutatókat szolgáltat. [10]. A módszer a karbantartási rendszerbe való beavatkozás értékelésére, valamint több variáns közül a legkedvezőbb hatású kiválasztására alkalmas.

e) Saját vagy külső szervezettel végeztessük a karbantartást?

A kérdést a szakirodalomban sokan felteszik, de legtöbbször csak szempontokat adnak. Bizonyos, hogy a **költségek közvetlen összehasonlítása szemléletében hibás**, mert a kérdést csak a rendszerhatások figyelembevételével lehet megválaszolni. A probléma összetettségét mutatja, hogy ötféle döntés hozható egy fenntartási munka külső vállalkozásba történő kiadását illetően (6. ábra), de igazi gazdasági döntés csak abban az esetben van, ha a saját feltételek rendelkezésre állnak.

6. ÖSSZEGZŐ MEGÁLLAPÍTÁS

A vázlatos ismertetőből is érzékelhető, hogy a fenntartásban a gazdasági szempontú megközelítések és az alkalmazható módszerek köre – a problémák sokféleségéhez igazodóan – rendkívül széles. Nagyon fontos, hogy a gazdaságossági számítás **helyesen orientáljon** és – mivel a számítás is jelentékeny ráfordítást igényelhet – **gazdaságos** legyen.

Mind a meglevő adottságok felhasználásában, mind a feltételek megteremtésében a műszaki-gazdasági ismereteken kívül a **humán** tényezőknek (készség, akarat), a **menedzsment** törekvéseinek kiemelt a szerepük.

Rendszerbe- avatkozás hatásterületei	ÁKFN-komponensek					Egyszeri ráfordítások Ft
	Árbevétel	-K _p	F	-K _f	N	
1	$\pm \Delta A_1$	$\pm \Delta K_{p1}$	$\pm \Delta F_1$	$\pm \Delta K_{f1}$	$\pm \Delta N_1$	B_1
2						B_2
3						B_3
·						·
·						·
·						·
n	$\pm \Delta A_n$	$\pm \Delta K_{pn}$	$\pm \Delta F_n$	$\pm \Delta K_{fn}$	$\pm \Delta N_n$	B_n
Változás	$\sum_{i=1}^n \pm \Delta A_i$	$\sum_{i=1}^n \pm \Delta K_{pi}$	$\sum_{i=1}^n \pm \Delta F_i$	$\sum_{i=1}^n \pm \Delta K_{fi}$	$\sum_{i=1}^n \pm \Delta N_i$	$\sum_{i=1}^n B_i$

A vállalati szintű gazdaságossági mutató (G_o)

$$G_o = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta A_i - \Delta K_{pi} - \Delta K_{fi})}{\sum_{i=1}^n B_i + R},$$

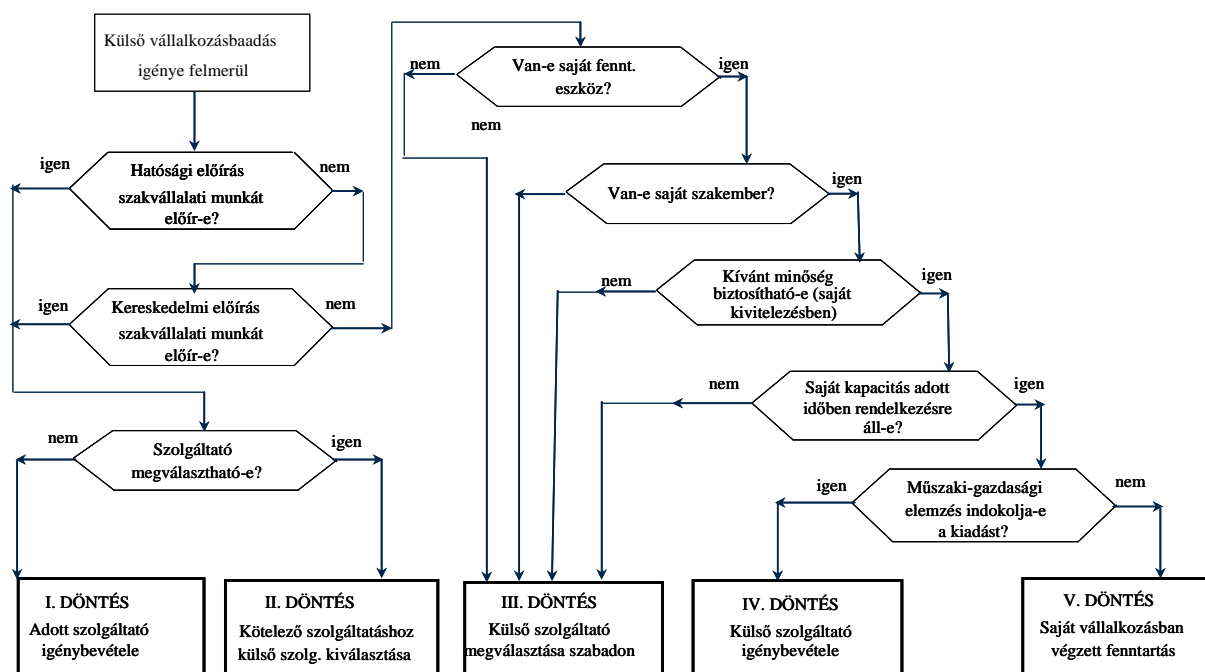
a megtérülési idő (t_m)

$$t_m = \frac{1}{G_o} \text{ (év),}$$

ahol:

- n - a beavatkozás hatásterületeinek száma,
- $\Delta A_i; \Delta K_{pi}; \Delta K_{fi}$ - a beavatkozás közvetkeztében előálló árbevétel, proporcionális- és fixköltségváltozás, hatásterületenként,
- m - a beavatkozási ráfordítások területeinek száma,
- B - a beavatkozási (pl. beruházási, szervezési) ráfordítások területenként,
- R - a beavatkozás miatti fedezet, valamint esetleges fixköltségkiesés (pl. üzemleállás miatt).

1. Táblázat Az ÁKFN-struktúrán alapuló számítás elve



6. ábra Döntési lehetőségek külső vállalkozásba adáskor

Ezeztől szemléletben is eltérő – például az érdekeltséget is bevonó – módszer a **részleges átalányár** elvén alapuló karbantartási szerződés.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **VERMES, P.:** Karbantartási rendszerek vizsgálata – elvek és módszerek. In: Műszaki tudomány az Észak-alföldi régióban 2009. konferencia előadásai. Mezőtúr, 2009. május 20. DAB Műszaki Szakbizottsága: Debrecen, 2009. p. 1-6
- [2] **BOROS, T.-né:** A karbantartás hatékonyságvizsgálata benchmarkingon alapuló módszerrel. In: Műszaki Információ Üzemfenntartás-Karbantartás (MIÜF), Budapest: BME-OMIKK, 2002. 5. sz. p. 3-14
- [3] **BRUMBY, L. – SCHICK, E.:** Die Instandhaltung im Wandel. In: VDI-Berichte, 2001. 1598. sz. p. 479-491 MIÜF 2002. 2. sz. p. 11-15
- [4] **GITTLÁR, F.-né** (összeáll.): A teljes életciklus költségei és az üzemfenntartás kapcsolata. In: MIÜF, Budapest: BME-OMIKK, 2005. 5. sz. p. 23-26
- [5] **GITTLÁR, F.-né** (összeáll.): Rugalmas gyártócellák termelékenysége és az üzemfenntartási stratégia közötti kapcsolat. In: MIÜF, Budapest: BME-OMIKK, 2007. 3. sz. p. 13-23
- [6] **PÁLINKÁS, J.** (összeáll.): A karbantartás hatása a vállalkozás eredményességére. In: MIÜF, Budapest: BME-OMIKK, 2006. 6. sz. p. 13-16.
- [7] **BOROS, T.-né** (összeáll.): A rendelkezésreállítás jelentősége. In: MIÜF, Budapest: BME-OMIKK 2006. 11. sz. p. 3-4
- [8] **VERMES, P.:** A gépfenntartás gazdaságossága megítélésének módszerei. In: II. Alföldi Tudományos Tájégzdálkodási Napok. 4. köt. (szerk.: Vizard K.) Mezőtúr: GATE MFK, 1999. p. 96-101.
- [9] **VERMES, P.:** Alapelvek a karbantartásszervezésben. OKAMBIK Konferencia. Nyíregyháza: GTE, 2006. p. 1-17. (CD)
- [10] **VERMES, P. , HERBÁLY, L., VAS, F.:** Üzemfenntartás. Mezőtúr: GATE MFK, 1996. Jegyzet. p. 106

A KORSZERŰ REPÜLŐGÉP SZERKEZETÉNEK KARBANTARTÁSI, JAVÍTÁSI SAJÁTOSSÁGAI

THE MAINTENANCE AND REPAIR SPECIALITIES OF THE STRUCTURE OF MODERN AIRCRAFT

Dr. KAVAS László¹ - Dr. BÉKÉSI Bertold²

¹főiskolai docens, ²egyetemi docens
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
kavas.laszlo@zmne.hu, bekesi.bertold@zmne.hu

Kivonat: A cikkben a szerzők összefoglaló jelleggel rámutatnak azokra a kiemelten fontos anyagtulajdonságokra, melyek a fejlett technológiával együtt járó új szerkezeti anyagok nagyobb arányú alkalmazásával szükségszerűen megváltoztatják a karbantartás és javítás eddigi módszereit. A kompozit anyagok üzemeltetési szempontból való bemutatása mellett a repülőgép sárkányszerkezetének várható meghibásodási formáit és a szerkezet lehetséges hibafeltérési módszereit is felvázolják.

Kulcsszavak: Kompozit, gyártási hibák, sérülések, roncsolásmentes anyagvizsgálat

Abstract: The authors of this paper summarise those extremely important material properties, which with the large scale use of new structural materials, resulted by advanced technology, will necessarily change the present day used maintenance and repair methods. Beside the introduction of composite materials, taking into consideration the maintenance aspects, the expected deterioration of aircraft airframe and the possible fault detection methods are outlined.

Keywords: composite materials, production faults, deterioration, non-destructive test

1. A KORSZERŰNEK TEKINTHETŐ REPÜLŐGÉPEK SZERKEZETI JELLEMZŐI

Napjaink rendszerben álló harcászati repülőgép típusainak ismerve, hogy a kiváló repülési tulajdonságokhoz az anyagtudomány és a gyártástechnológia legújabb eredményeit alkalmazva csökkentett méretek, kisebb felszállási tömegek tartoznak, továbbá a tervezésekor kiemelten ügyeltek a gép felderíthetőségének a csökkentésére. Ez utóbbi jellemző a hatásos radar visszaverő felületet és a repülőgép infravörös kisugárzásának csökkentését jelenti, megfelelő szerkezeti kialakítás révén, és speciális festékbevonatok alkalmazásával.

A hagyományosnak tekinthető elvek alapján épült repülőgépeken - beleértve azok korszerűsített változatait is - nagyon kis arányban alkalmaznak kompozit anyagokat, egyedül a szárnyak borítását, valamint a rádiólokátort tartalmazó orrkúpot készítenek ilyen anyagokból. A sárkányszerkezet tömegszázalékos arányban kb. 80 - 85% alumíniumot, 5% acélt, 2% titánötvözetet, 2 - 5% kompozit anyagokat, és 6 - 8% egyéb anyagot (műanyagok, gumiféleségek) tartalmaz.

Ezzel szemben a legújabb elven tervezett és gyártott harcászati repülőgép sárkányszerkezetében az alkalmazott anyagok között megtalálhatóak a legkorszerűbb szénszálas, üveg- és aramidszálas kompozit anyagok is, amelyek akár a sárkányszerkezet 25%-át is alkotják. Többek között a kormányfelületek, a szárnyak, a kacsá vezérsíkok, burkolatok és a szerelőnyílások is ilyen anyagok felhasználásával készülnek. Az egyéb szerkezeti építőanyagokról körülbelüli részarányaira elmondható, hogy alumínium ötvözet 56%, titán 6%, míg 5% az egyéb fém.

A fenti jellemezők a jelenlegi, 4. generációs fejlettségi szintet képviselő repülőgépekre általánosított mutatók. A fejlesztés és rendszerbe állítás alatt álló 5. generációs repülőgépek

továbbmutatnak az ismertetett arányokon, olyannyira, hogy a kompozit anyagból készült elemek a repülőgép üres tömegének 60 – 85 %-át is kitehetik.



1. ábra. Kompozit anyagok a korszerű katonai repülőgépeken

A hagyományos duralumínium ötvözetek lecserélése azonban nem jár bonyodalmak nélkül, sem a repülőgép gyártók, sem az üzemeltető és karbantartó szervezetek esetében.

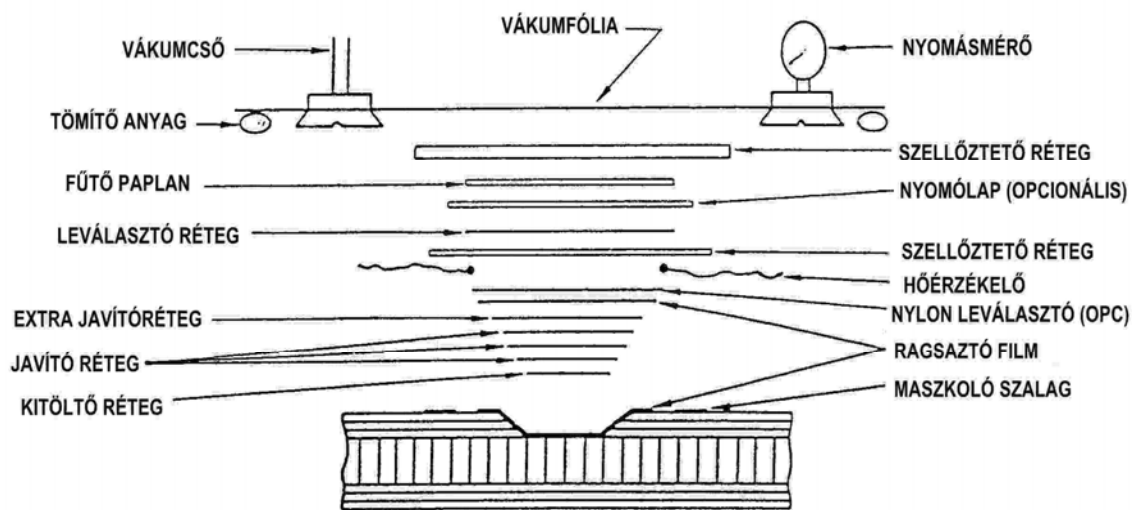
Nézzük milyen előnyös tulajdonságokkal rendelkeznek a nagyszilárdságú szálakkal erősített kompozitok:

- különleges és speciális formai igények is megvalósíthatók belőle;
- a beépített szerkezeti anyag tömege 25-50%-kal csökkenthető általa, a hagyományos fémekkel összehasonlítva;
- igen nagy a torziós merevsége;
- kiváló korrózióállóság;
- a hőre lágyuló kompozitok gyorsan, nagy mennyiségben előállíthatók iparilag;
- a kompozitok szerszámozása lényegesen olcsóbb, mint a fémmegmunkálás szerszámjai.

Az előnyük mellett, léteznek negatív tulajdonságaik is amiket mindenképp számításba kell venni alkalmazásuk estén:

- a kompozit anyagok lényegesen drágábbak, mint a fémek vagy a fa;
- ütésállósága alacsonyabb, mint a fémeké, bár a szakirodalom szerint az ütközés és sérülés tűrése kiváló;
- tervezésük, gyártásuk és megmunkálásuk speciális ismereteket igényel;
- alacsony hőállóság. (A kompozit műanyagok hőállósága valójában csak néhány 100 °C-ig terjed, bár léteznek speciális kerámia kompozitok amelyek a 2000 °C fölötti hőmérsékletet is elviselik);
- kevés a rendelkezésre álló felhasználói tapasztalat.

A felsorolt mutatók azt vetik előre, hogy a hagyományos, fém alkatrészeknél eddig alkalmazott javítási lehetőségek,- pl. javító folt felszegecselese, hegesztés- nagyrészt elvetendő eljárások. Helyettük a ragasztáshoz kapcsolódó új módszerek kerülnek előtérbe. Az eddigi ez irányú tapasztalatok azt mutatják, hogy a javító szervezet személyi állományának összetételét, infrastruktúráját, képzési irányát, tematikáját alaposan át kell alakítani, amennyiben az üzemeltető kívánja a javítást elvégezni, bármely egyszerű, kisebb sérülések bekövetkezése esetén is. Az új anyagokhoz tartozó javítási technológiai bonyolultságának szemléltetésére a 2. ábra szolgál, mely révén a szakemberek számára jól érzékelhető az acél, vagy alumínium ötvözetekhez rendelhető folt felhelyezés és a kompozit lemez „befoltozása” közötti jelentős különbség.



2. ábra. Példa kompozit szerkezet javítási technológiájára

2. A KOMPOZIT ALKATRÉSZEK LEHETSÉGES RENDELLENESSÉGEI

2.1. Gyártás során előforduló hibák

Kompozit-szerkezeteknél már a gyártás során is sok hiba lehetséges. Szerencsére ezek jól kiszűrhetők és elkerülhető, hogy hibás ragasztott szerkezet kerüljön beépítésre. Az üzemeltetés során a kompozit szerkezetek sérüléseinek felismerése és helyes elbírálása elengedhetetlen a repülőgép további üzemeltetéséhez, vagy a javítás meghatározásához.

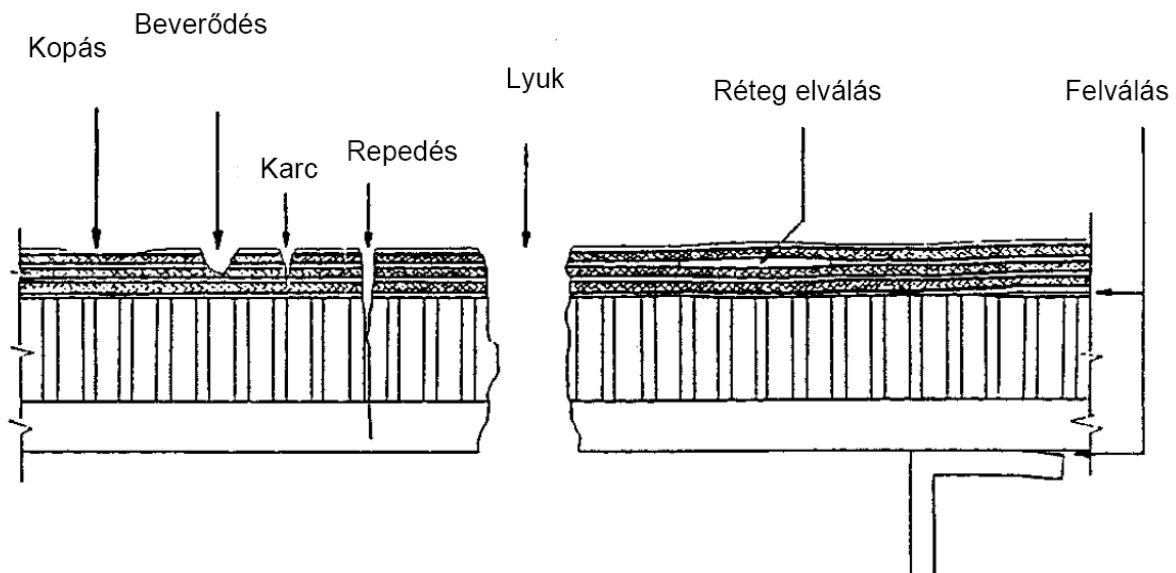
- Rétegek elválása: A rétegek elválása gázbuborékok, vagy szennyeződés miatt fordul elő. Nem megfelelő felület-előkészítés is okozhatja.
- Üregek: Kis méretű levegő vagy gázbuborékok, melyek a rétegeknél összegyűlnek.
- Pórusosság: Levegő vagy gázbuborékok a tömör laminátumban. Kikeményedés során, gyors melegítés, vagy rossz gáz elvezetés, vagy szennyeződés okozhatja.
- Zárvány: A ragasztásban előforduló idegen anyag, szalag, forgács, papírdarab, ecsetszőr.
- Gyantaarány eltérés: Gyantagazdag és gyantaszegény részek kombinációja nem megfelelő gyantaadagolás, gyantaelszívás, felitatás következtében.
- Szálrendellenességek: Gyűrődések, szálcsavarodás, rések formájában előforduló a szálelrendezés nem megfelelő voltára utaló jelenség.
- Méhsejt illesztési rés: Illeszkedő magok, vagy a mag és a borítás közti nyitott rés nem megfelelő kivitel miatt.
- Ragasztás elválása: Nem megfelelő ragasztás miatt két különböző anyag, pl. borítás és mag elválása.
- Felületi karcok: Durva, hegyes tárggyal a felület megsértése, mely a szálak elszakadását eredményezi.
- Felületi benyomódás: Szerszámtól, vagy más tárgytól származó viszonylag enyhe átmenetű sérülés, melynél általában a szálak nem sérülnek meg.
- Megégett gyanta: Kikeményedés során túl sok hő keletkezett, ami a gyanta elszíneződését okozza és mechanikai tulajdonságait kedvezőtlenül befolyásolja
- Szál folytonossági hiba: Nem folytonos, vagy rosszul elhelyezett szálak vannak beágyazva a réteges szerkezetbe, ami az erőátadást nem teszi lehetővé.
- Nem megfelelő számú réteg: Túl sok, vagy túl kevés számú rétegből kialakított laminátum.

- Nem megfelelő szálelrendezés: Nem szimmetrikus réteg elrendezés, ami elcsavarodást, elválást eredményezhet.
- Nem megfelelő szálirányultság: Nem a mértékadó terhelésnek megfelelő szálirányú a rétegek alkalmazása.

2.2. A repülőgép üzemeltetése során előforduló leggyakoribb sérülések

Az alábbiakban felsorolt sérülések keresztmetszet-csökkenéssel, vagy maradósavarodással, alakváltozással járó sérülések. Könnyen belátható, hogy bekövetkezésük időben történő felderítése minden karbantartó szervezet számára alapvető és létfontosságú feladat.

- Benyomódás: Olyan sérült terület, mely a normális kontúrhoz képest benyomódott. Az anyag keresztmetszetében nincs változás, a terület szélei simák. Viszonylag sima, tompa tárgyval való ütközéstől származhat.
- Gyűrődés: Benyomódott, vagy visszahajtott sérült terület, melynek szélei élesek, vagy éles vonalak határolják.
- Kopás: Olyan sérült terület, mely tekintet nélkül a méretre keresztmetszet-csökkenéssel jár. Karcolódás, dörzsölődés, vagy egyéb felületi erózió okozhatja.
- Beverődés: Keresztmetszet-csökkenéssel járó tetszőleges méretű sérülés, melyet egy viszonylag éles tárgy okozott.
- Karc: Helyi éles éllel rendelkező beverődés, vagy vonalszerű, tetszőleges mélységű, keresztmetszet-csökkenéssel járó sérülés, melyet nagyon éles tárgy okozott.
- Repedés: Az anyag részleges vagy teljes eltörése a legjelentősebb keresztmetszet-változást előidézve. Megjelenési formája rendszerint egy nem szabályos vonal.
- Korrozio: Összetett elektrokémiai reakció miatt kialakuló, változó méretű és mélységű sérülés



3. ábra. Kompozit alkatrész leggyakoribb sérülései

3. KOMPOZIT SZERKEZETEK HIBAFELTÁRÁSI LEHETŐSÉGEI

A kompozit szerkezetek minősítésére a jelenleg szokásos és leggyakoribb módszer a szemrevételezéses, az ultrahangos, az akusztikus, és a röntgensugaras ellenőrzés. Ezeken kívül léteznek egyéb, hatékony módszerek is, mint például a komputeres tomográfia, lézeres

holográfia, lézeres nyírásgrafológia, thermográfia, infravörös sugárzásos vizsgálat.

3.1. Ultrahangos és akusztikus ellenőrzés

Az ultrahangos ellenőrzés a leggyakrabban alkalmazott módszer. Ennél az eljárásnál nagy frekvenciás hangot vezetnek az ellenőrizendő alkatrészbe, és a visszavert jelekből lehet megállapítani az anyagban előforduló porozitást, üregeket, ragasztás elválását.

3.1.1. Ultrahangos lüktető/visszhang módszer

Ennél az eljárásnál az ultrahang energiát ugyanaz az egy adó bocsátja ki és érzékeli. Az energia az ultrahangos mérőkészülék képernyőjén jelenik meg jelek formájában, melyek az időt és a távolságot viszonyítják az energia amplitúdójával. Az energia behatol az ellenőrizendő alkatrészbe, majd egy belső visszaverő felületről visszaverődik. Ha a keresztmetszetben nincs jelentős köztes visszaverő felület, az energia a tárgy másik felületéről verődik vissza az érzékelő fejre, és az érzékelt jel megjelenik a képernyőn. Így, ha jól van beállítva a készülék, a képernyőn megjelenik az érzékelő felőli felület jele, a másik felület jele, és bármely a két felület közti felületről visszaverődő jel.

3.1.2. Átmenő továbbításos módszer

A hangenergia kibocsátására és érzékelésére két különböző fejet használunk, melyek rendszerint az ellenőrizendő alkatrész két ellentétes oldalán helyezkednek el. A képernyőn csak az érzékelt energia jele látható ennél a módszernél. Ha nincs repedés, felválás az ellenőrizendő alkatrészben, akkor a jel a beállított szinten fog maradni. Ha a hang energia útjába kerül repedés, vagy felválás, ami nem továbbítja az energiát, az érzékelt jel magassága csökken. Méhsejt szerkezetek csak átmenő továbbítás módszerrel ellenőrizhetők.

3.1.3. Visszaverődő átmenő továbbításos módszer

Ez a módszer azonos az előző módszerrel, de az ellenőrizendő alkatrész másik oldalán elhelyezett érzékelő helyett egy hanghullám visszaverésére alkalmas „tükröt” használnak.

Az ultrahangos lüktető/visszhangos, az átmenő továbbításos és a visszaverődő átmenő továbbításos módszereket kétféleképpen lehet megvalósítani:

1. Érintkezéssel ellenőrzés: Ennél a módszernél a jeladó közvetlenül érintkezik az ellenőrizendő alkatrész felületével. A jeladó-fejet az ellenőrizendő felületen kell lassan mozgatni. A jeladó fej és a felület között egy vékony mérgezést és korróziót nem okozó folyadékfilmet (pl. szappanos víz) alkalmazunk.
2. Bemerítéses ellenőrzés: Ennél az ellenőrzésnél egy közeget alkalmazunk a hangenergia továbbítására a jeladó fejről az ellenőrizendő alkatrészre.

3.2. Akusztikus mikroszkópia

Az akusztikus mikroszkópia az ultrahangos ellenőrzések családjába tartozik. Tulajdonságai közé tartozik a nagyobb érzékenység, pontosabb adatok, nagyobb felbontási képesség. A nagyobb felbontási képesség lehetővé teszi a szálak és a mátrixanyag közötti tapadás, szálszakadás ellenőrzését.

Az akusztikus mikroszkópiának három fő típusa van:

1. SLAM (Scanning Laser Acoustic Microscope) Letapogató Lézeres Akusztikus

Mikroszkóp: Ez a módszer egy átmenő továbbításos módszer, ami lehetővé teszi az anyag teljes vastagságán keresztül a hibák felderítését, az anyageltérések kimutatását. Fő előnye, hogy nagymennyiségű tárgyat lehet gyorsan ellenőrizni.

2. SAM (Scanning Acoustic Microscope) Letapogató Akusztikus Mikroszkóp: Felületek és felülethez közeli anyagtulajdonságok ellenőrzésére alkalmas.
3. C-SAM („C” Scanning Acoustic Microscope) „C” Üzem módú Letapogató Akusztikus Mikroszkóp: Belső jellemzők, mint a ragasztás, anyagkapcsolatok, repedések, felválások és meghatározott mélységben lévő mikrostruktúrák ellenőrzésére alkalmas.

3.3. Örvényáramos ellenőrzés

Általában fémszerkezetekben keletkező kis felületi repedések érzékelésére alkalmas eljárás. Kompozit szerkezeteknél a szénszálerősítés műanyagok ellenőrzésére alkalmazható csak, mivel a szénszál jó elektromos vezetési tulajdonsággal rendelkezik. Az örvényáram áramlása megszakad, ha a szénszálak el vannak szakadva például egy repedés miatt.

3.4. Röntgensugaras ellenőrzés

A röntgenes ellenőrzés kiválóan alkalmazható a méhsejt-szerkezetek belsejének ellenőrzésére, és olyan hiányosságok, problémák felderítésére, mint hiányzó alkatrészek, magsérülés, vizesedés stb. Az eljárás során egy röntgen sugárforrás nagy energiájú sugárzást bocsát át az alkatrészen. Az energia egy része elnyelődik az alkatrészekben, de az energia többi része egy képet képez a röntgensugárra érzékeny filmen.

3.5. Vizuális ellenőrzés

A legegyszerűbb, leggyakrabban alkalmazott és leggazdaságosabb ellenőrzési módszer a szemrevételezéses ellenőrzés. Megfelelő világítás mellett néhány egyszerű segédeszköz, mint tükör, nagyító, boroszkóp segítségével nagyon sok sérülést lehet azonosítani. Szintén hatékony és széles körben alkalmazott módszer a kopogtatásos hibakeresés. Kicsi, kemény tárggyal kopogtatva a vizsgált alkatrész felületét hallható ha a látszólag ép felület alatt felválás található. Ilyenkor a koppanások hangja megváltozik. Természetesen ez csak inkább csak egy elővizsgálati eljárás, konkrét hibafeltáráshoz nem alkalmas.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **DOUNG – WANG:** Composite Repair – Theory and Design, Elsevier, 2007.
- [2] **LUKÁCS – CSOMÓS – GÁCSI - KARCAGI – MAGYAR – TOMOLYA:** Fáradásos repedésterjedés különböző típusú kompozitokban, Anyagvizsgálók Lapja, 2004/4.
- [3] **KONCZ – MAGYAROSI – PUSZTAI:** Kompozitok és szendvicsszerkezetek - Repülőgép kompozit szerkezetjavító szakmai oktatási jegyzet, 2000.
- [4] **MATZKANIN – YOLKEN:** Techniques for the Nondestructive Evaluation of Polymer Matrix Composites, The AMMTIAC Quarterly, Vol. 2, Number 4.
- [5] **DONALD H. Middleton:** Composite Materials in Aircraft Structures, 1990.
- [6] **MICHAEL CHUN-YUNG NIU:** Composite airframe structures, Conmilit Press Ltd., 1992.
- [7] **MICHAEL CHUN-YUNG NIU:** Airframe structural design, Conmilit Press Ltd., 1988.
- [8] **HEXCEL:** Honeycomb Sandwich Design Technology, 2000.
- [9] **RÉVÉSZ TAMÁS:** Szálerősítésű polimer mátrix kompozitok, valamint fémes és nemfémes szendvicsszerkezetek sérüléseinek javítása, ZMNE BJKMK RLI Szakdolgozat, Szolnok, 2010.

A MOTORÁLLAPOT ÉRTÉKELÉSE NÖVÉNYOLAJ-SZÁRMAZÉKOK HASZNÁLATAKOR

INVESTIGATION OF ENGINE CONDITION IN CASE OF VEGETABLE OIL USAGE

FARKAS Ferenc

főiskolai tanár
Szolnoki Főiskola Agrárgazdálkodási Intézet, Gépészeti Tanszék
5400 Mezőtúr, Petőfi tér 1.
farkas@mfk.hu

Kivonat: A Szolnoki Főiskola Gépészeti Tanszéke (Mezőtúr) motorféktermi laboratóriumában növényi olajszármazékokkal (repcemetilészter /RME/, valamint hidegen préselt és adalékolt repceolaj-keverék /Schur/ [1], [2]) – mint hajtóanyagokkal – és kereskedelmi gázolajjal motorállapot értékelő összehasonlító vizsgálatokat végeztünk D-240 típusú traktormotorra alapozottan. A DEF 2101D minősítésű módszer szerint lefolytatott kísérleteinkről az alábbiakban számolunk be. A növényi olajszármazékokkal és a kereskedelmi gázolajjal végzett összehasonlító fékpadi motorkísérletek motorállapot-vizsgálata a kopás meghatározására és a dugattyútisztaság értékelésére terjedt ki.

Kulcsszavak: lerakódás- és kopásvizsgálatok, dugattyútisztaság értékelése, növényolaj-alapú hajtóanyagok.

Resume: Performing the scaling and wear and tear tests was based on the qualification method DEF 2101 D, again after 3x50 operating hour cycles with three fuels. The following fuels were applied upon my tests: commercial diesel oil, rape oil methylester (RME), cold pressed rape oil treated with Schur additive (SCHUR) [1], [2]. The engine condition was evaluated at the end of cycles of 50 working hours performed by diesel oil, RME and Schur fuels. Upon the test before commencing the certain trials, mass and geometrical measurements were made for defining the size of ring zone of the piston and of cylinder jacket then these measurements were performed again after implementing the trial and disassembling the engine in order to control values of wear and seizing. Evaluation of cleanliness of the piston ring zone and locations of the piston crown, skirt, valve disc, valve seat was made in accordance with qualification method DEF 2101D.

Keywords: wear and clear tests, piston cleanliness evaluation, vegetable based fuels.

1. BEVEZETÉS

A Szolnoki Főiskola Gépészeti Tanszéke (Mezőtúr) motorféktermi laboratóriumában gázolaj, RME és SCHUR [1], [2] hajtóanyagokkal elvégzett 50 órás ciklusok végén a motorállapotot értékeltem. Ennek során az egyes kísérletek indítása előtt tömeg- és geometriai mérésekkel rögzítettem a dugattyú gyűrűzóna, valamint a hengerpalást méreteit, majd ezeket a méréseket a kísérlet lefolytatása után, a motort szétszerelve ismét elvégeztem a kopások és berágódások értékeinek ellenőrzése céljából.

A dugattyú gyűrűzóna tisztaságának értékelését, továbbá a dugattyú fenékkorona, a szoknya, valamint a szeleptányér, szeleplés helyeket a DEF 2101D minősítő módszer szerint vizsgáltam.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A súrlódó alkatrészek kopásának meghatározásához a fékpadi kísérlet előtt geometriai, illetve tömegméréssel bemérésre kerültek a gyári új hengerperselyek és dugattyúgyűrűk. A bemérés a következőkre terjedt ki:

- a) hengerpersely átmérő,
- b) dugattyúgyűrűk (kompresszió)
 - radiális mérete,
 - axiális mérete,
 - véghézag,
 - oldalhézag,
 - tömeg.

A fékpadi kísérletek befejezése után a bemért motoralkatrészek visszamérésre kerültek. A be- és visszamért értékekből lett meghatározva a kopás mértéke.

A dugattyútisztaság értékelése a fékpadi olajminősítő kísérleteknél alkalmazott DEF 2101D módszer szerint a következőkre terjedt ki:

- gyűrűbesülés,
- olajlehúzógyűrű eltömődés,
- dugattyúkorona belső lerakódás,
- dugattyúszoknya külső lerakódás,
- korona bemarkódás,
- dugattyúgátak lerakódása,
- gyűrűhornyok lerakódása,
- dugattyúszoknya belső lerakódása.

Az értékelés lényege: A dugattyú különböző felületrészeinek lerakódásait, elváltozásait kell osztályozni 0 (legrosszabb, pl. teljes fekete lerakódás vagy teljesen megszorult gyűrű) és 10 (legjobb, pl. teljesen fémtiszta felület, vagy az olajlehúzógyűrű furatai tiszták, eltömődésmentesek) között. Ezekből az adatokból százra, mint optimumra vonatkozó összesített értékszám képezhető.

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

3.1. Kopásmérések

A kopásmérési eredményekből megállapíthatók a következők:

a) Hengerpersely kopás

A hengerpersely kopás az első kompressziógyűrű felső fordulópontjában a Schur-féle hajtóanyaggal üzemelő motornál, alsó fordulópontjában az RME hajtóanyaggal üzemelő motornál kedvezőbb.

b) Dugattyúgyűrű kopása

- A dugattyúgyűrűk radiális kopása az 1-es és a 3-as kompressziógyűrűknél az RME és a kereskedelmi gázolajjal üzemelő motoroknál, a 2-es kompressziógyűrűk kopása a kereskedelmi gázolajjal üzemelő motornál kedvezőbb.
- A dugattyúgyűrűk axiális kopása és véghézag-növekedése a Schur hajtóanyaggal üzemelő motoroknál kisebb.
- Az oldalhézag-növekedés a kereskedelmi gázolajjal üzemelő motornál a legkisebb, azt követik az RME és a Schur üzemanyaggal üzemeltetett motorok.
- Az első kompressziógyűrűk tömegvesztése alapján a legkisebb kopás a Schur hajtóanyaggal üzemelő motornál tapasztalható. Az RME hajtóanyaggal és a kereskedelmi gázolajjal üzemelő motoroknál ez a kopás (1. kompressziógyűrű) számottevően nagyobb.

Összefoglalva a kopásmérési eredményeket, a két legjellemzőbb kopásmutató alapján (hengerpersely felső fordulóponti kopás és az első kompressziógyűrűk tömegvesztesége) a vizsgált hajtóanyagféleségekre a következő sorrend állítható fel:

Sorrend:	Vizsgált hajtóanyag:
1.	Schur
2.	RME
3.	kereskedelmi gázolaj

3.2. Dugattyútisztasági eredmények

Az értékszámokból megállapíthatók a következők:

- Az RME hajtóanyaggal és a kereskedelmi gázolajjal üzemelő motoroknál 1-es és 4-es dugattyúk első kompressziógyűrűinél kisebb (20-40 % közötti) gyűrűmegszorulás volt tapasztalható.

Mindhárom hajtóanyaggal üzemelő motornál olajlevezetőgyűrű eltömődés és korona bevarródás nem volt; a dugattyúkorona belső, dugattyúszoknya belső és külső felülete tiszta, lerakódásmentes volt.

A dugattyúgátak és a gyűrűhornyok lerakódása mindhárom hajtóanyagféleséggel üzemelő motornál közel azonosnak tekinthető.

Összefoglalva a dugattyútisztasági eredményeket, a motor átlag értékszám (max. 100) alapján, a vizsgált hajtóanyagféleségek között a következő sorrend állítható fel:

Sorrend	Vizsgált hajtóanyag	Értékszám
1.	RME	96,1
2.	Kereskedelmi gázolaj	95,4
3.	Schur	94,3

Az előbbi sorrend a vizsgált hajtóanyagokról a minimális eltérések miatt minőségi sorrend kialakítására nem alkalmas. Gyakorlatilag a vizsgált hajtóanyagok dugattyútisztaság szempontjából azonosnak tekinthetők.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A kísérletek egyik célja volt a vizsgált üzemanyagoknak a motorállapotra (súrlódó alkatrészek kopása, dugattyútisztaság) gyakorolt hatásának meghatározása.

A kopásmérési eredményekből és a dugattyútisztasági értékszámokból megállapítható volt:

- a kopásmérési eredmények alapján a Schur üzemanyaggal üzemelő motor,
 - a dugattyútisztasági értékszámok alapján az RME-vel üzemelő motor
- mutatkozott némileg kedvezőbbnek. Az alkatrészek közötti értékkülönbségek azonban elhanyagolhatók, gyakorlatilag azonosnak tekinthetők.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] MAURER, K.: Erprobung des Einsatzes naturbelassenem Pflanzenöl aus regionaler Produktion als Motorkraftstoff. Stuttgart, Universität Hohenheim, 1999.
- [2] HANCSÓK, J., LAKATOS, I., VALASEK, I.: Üzemanyagok és felhasználásuk. Tribotechnik Kft. Bp. 1998.

FORGÓSZÁRNYÚ ÉS/VAGY MEREVSZÁRNYÚ UAV ALKALMAZÁSOK

FIXED WING AND/OR ROTARY WING UAV APPLICATIONS

Prof. Dr. SZABOLCSI Róbert

egyetemi tanár
ZMNE Bolyai János Katonai Műszaki Kar
1581 Budapest, Pf. 15.
szabolcsi.robert@zmne.hu

Kivonat: A mai modern UAS¹ rendszerek komplex rendszerek összessége, amelyek úgy a polgári, mint katonai alkalmazások során – sok esetben akár – D3 (Dirty – Dull - Dangerous) feladatokat látnak el. Új kihívások jelentkeznek, amikor zárt térben, akár zárt, vagy nyitott épületeken belül kell felderítési feladatot ellátni, és információt gyűjteni. Sok esetben a felderítés során néhány alapvető információt szeretnénk szerezni az eseményekről, célokról. A szerző célja bemutatni, és összehasonlítani két rendelkezésre álló technológiát, a forgó-, és a merevszárnyú UAV-technológiákat. A szerző az összehasonlító elemzést kutatása során kapott szakértői vélemények eredményeivel támasztja alá. A cikk aktualitását nagyban alátámasztja a hazai-, és a nemzetközi árvízhelyzet, a klímaváltozást jellemző esőzések, földcsuszamlások, sárlavinák ellenőrzése, és monitoring-vizsgálatának szükségessége.

Kulcsszavak: UAV, polgári alkalmazások, vásárlói-alkalmazói követelmények

Abstract: The modern UAS systems are complex ones carrying out many D3 (Dirty – Dull - Dangerous) civilian and military applications and special missions. There are lots of new challenges to monitor disaster areas to provide safety and security for the habitants. The indoor applications generate need of application of the special flying object able to hover, or have very slow speed. The purpose of the author is to evaluate the results of the scientific survey promising good results in UAV application in firefighter missions. Actuality of the given topic being investigated is proofed by latest events in extreme weather conditions, and by heavy rains leading to flooding in many countries in Europe, and all over the World.

Keywords: UAV, civil application, customer requirements

I. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A pilóta nélküli repülőgépek polgári-, és katonai alkalmazásával kapcsolatban a szerző által készített országos, reprezentatív felmérés eredményeit hazai-, és külföldi konferenciákon, szimpóziумokon tette közzé. A cikksorozat egyik befejező állomása a jelen cikk, amelyben az egyik válaszadói csoport által szolgáltatott szakmai vélemények kiértékelése történik [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

II. A „TÜZOLTÓK”-CSOPORT FONTOSABB JELLEMZŐI

A TÜZOLTÓK-csoport 36 elemű halmaz, amely a Szerző által felkért tűzoltó szakemberekből állt. A szakértők a megyei-, a városi-, és egyéb (pl. Paks, repülőterek) tűzoltó szervezeteiől kerültek felkérésre. A kiküldött kérdőívek alapján a csoport tevékenységének statisztikai adatait az 1. táblázat foglalja össze:

Az 1. táblázat alapján a Tűzoltók-csoport adatszolgáltató tevékenységéről elmondható, hogy:

1. a postázott kérdőívek mind kézbesítésre kerültek (100 %).
2. a kézbesített 36 felkérésre 21 válasz (58 %) érkezett.

¹ UAS – Unmanned Aerial Systems

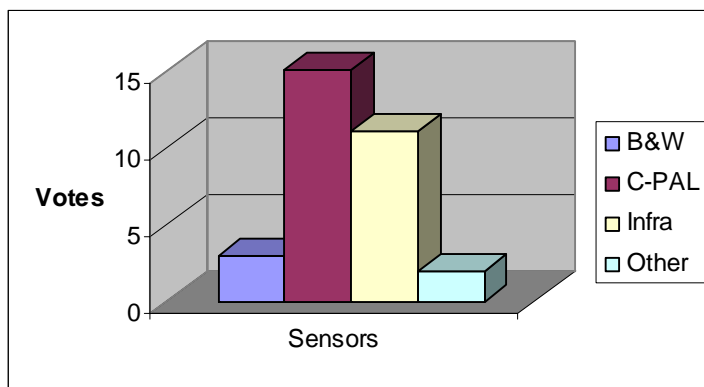
3. a 21 visszaküldött és kitöltött kérdőívből 20 (a válaszolók 95 %-a) fő adott érdemi, értékelhető választ a feltett szakmai kérdésekre.

Postázott kérdőívek száma		Kézbesített kérdőívek száma		Nem kézbesített kérdőívek száma		Megválaszolt felkérések száma		Kitöltött kérdőívek száma	
darab	%	darab	%	darab	%	darab	%	darab	%
36	100	36	100	0	0	21	≈58	20	≈95

1. Táblázat A TŰZOLTÓK-csoport statisztikai adatai

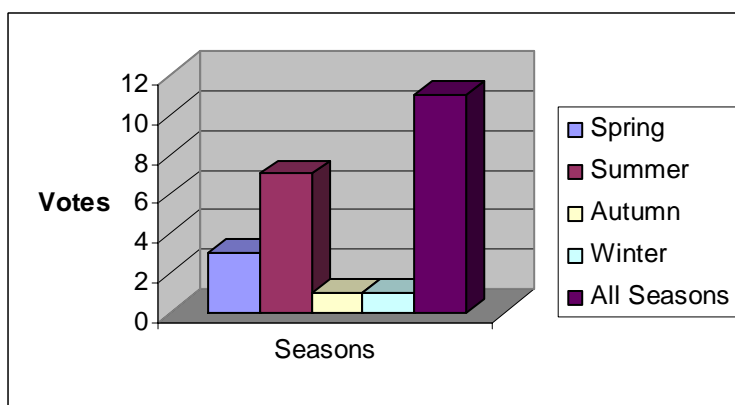
Az 1. táblázat összefoglaló adatai alapján tehát megállapítható, hogy a TŰZOLTÓK-csoport által szolgáltatott adatok tehát kiértékelhetőek, véleményük szignifikáns e területen. A továbbiakban a 20 válaszadót, mint önállóan véleményt formáló szakmai véleményt vesszük figyelembe. Tekintsük át az egyes kérdésekre adott válaszokat, és értékeljük azokat. A kiküldött kérdőívek releváns kérdései, és az azokra adott válaszok az alábbiak voltak:

1. Adja meg, hogy milyen jellegű információ szolgáltatását várja el a pilóta nélküli repülőgépektől?!



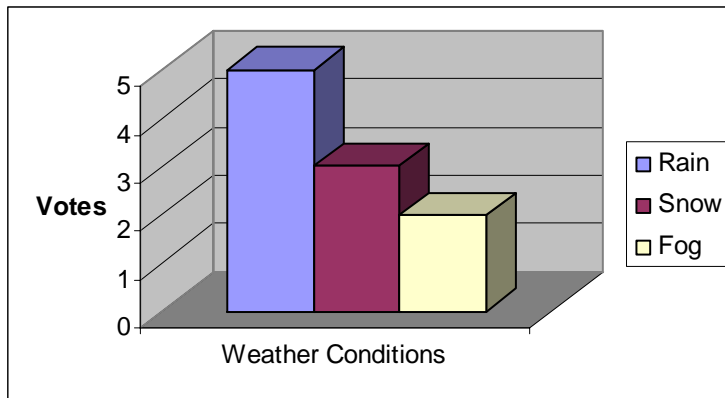
Következtetések: a kérdésre adott válaszokból kiderül, hogy a válaszadók szignifikáns többsége a színes videojel, valamint az infrakamera jelre tart igényt. Az érzékelők COTS-technológia szerint hozzáférhetőek.

2. Adja meg, hogy az Ön szakterületén mely évszak(ok)ban véli lehetségesnek, és szükségesnek a pilóta nélküli repülőgépek alkalmazását?

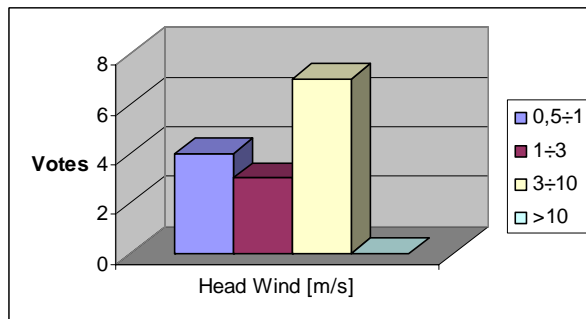


Következtetések: a kérdésre adott válaszokból megállapítható, hogy az UAV esetleges alkalmazásai nem korlátozottak évszakok szerint, a lehetséges alkalmazások alapvetően a nyári hónapokra jellemzőek, de lényeges a bevetethetőség biztosítása az évszakoktól függetlenül is.

3. Adja meg, hogy az Ön szakterületén milyen időjárási feltételek mellett véli lehetségesnek és szükségesnek a pilóta nélküli repülőgépek alkalmazását!

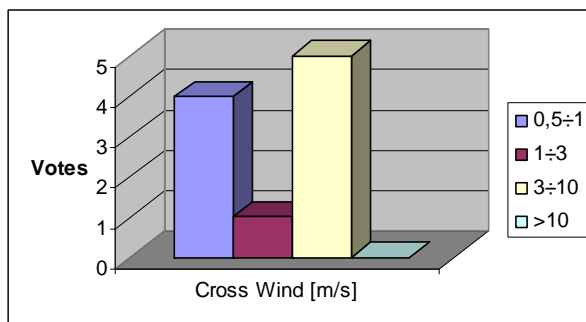


Következtetések: a kérdésre adott válaszokból megállapítható, hogy az UAV alkalmazások előfordulhatnak esős, illetve havas időben is. Megemlíteni szükséges, hogy a válaszadók kis hányada tudta meghatározni a csapadékfajtát, így a válaszokat kellő kritikával kell fogadni.

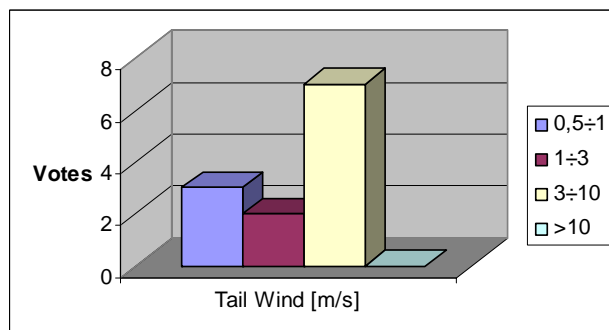


Következtetések:

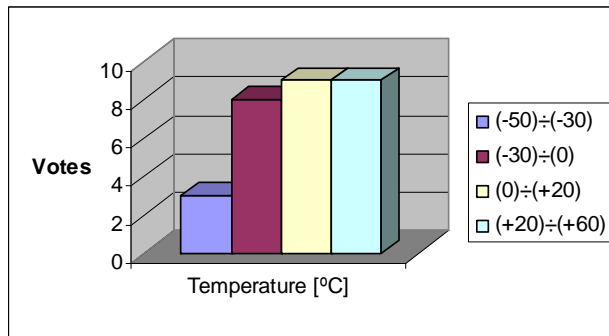
A válaszadók jelentős része ellenszélben is szükségesnek tartja az UAV-repülést. Az ellenszél maximális értékének $u_H \leq 10 \text{ m/s}$, ami számottevő, de nem extrém értékűnek tekinthető.



A válaszadók döntő többsége az UAV-repülés során megengedettnek tekinti a nagy értékű oldalszelet, aminek maximális értékét $v \leq 10 \text{ m/s}$ értékű sebességgel adták meg.



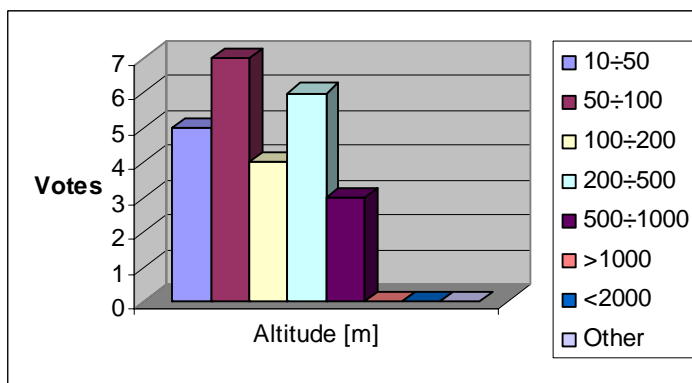
A válaszadók jelentős része erős hátszélben is szükségesnek tartja a repülést. A hátszél maximális értéke $u_T \leq 10 \text{ m/s}$. A jelentős hátszélben történő repülés hatékony a repülés során felhasznált energia minimálása során, minden esetben, más elvárások biztosítják, hogy a repülési sebesség állandó legyen. Mindazonáltal, a nagyértékű hátszél a felszállás során problémát okozhat, és a felszállási irány helyes megválasztása során figyelembe kell azt venni.



A válaszadók többsége a $T = ((-30) \div +60) ^\circ C$ környezeti hőmérsékleti tartományban látja szükségesnek az UAV-repülést.

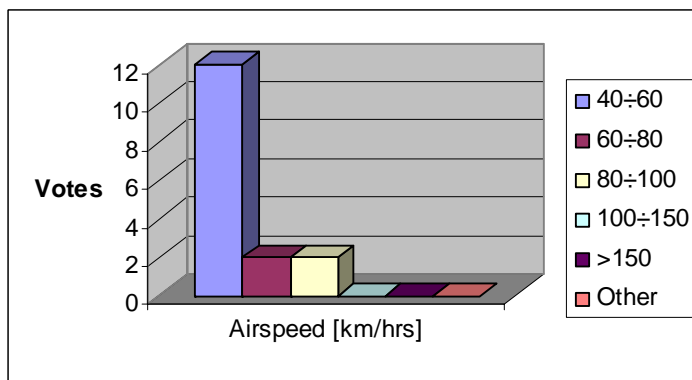
Összességében tehát megállapítható, hogy az értékelt válaszadói csoport szerint az UAV-k akár extrém klimatikus viszonyok között, nagyon alacsony hőmérsékleten (pl. magas hegyek között, télen), és nagyon magas hőmérsékleten (sivatagos területen, nyáron) is szeretnék használni.

4. Adja meg, hogy az Ön szakterületén milyen repülési tartományban véli lehetségesnek és szükségesnek a pilóta nélküli repülőgépek alkalmazását!



Következtetések

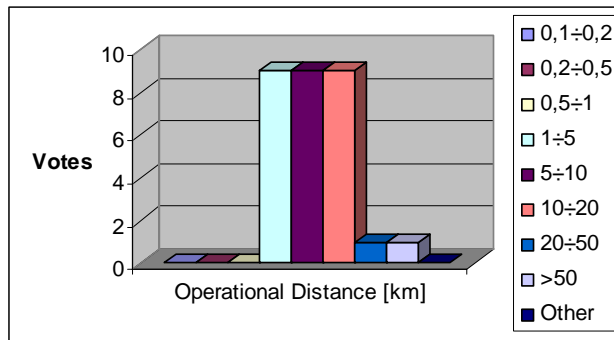
az UAV-k elvárt repülési magassága – a válaszadók jelentős része szerint – a $H = (10 \div 1000) m$ repülési magassági tartományban helyezkedik el.



Az UAV-k elvárt repülési sebessége a $v = (40 \div 100) km/h$ tartományba esik.

5. Adja meg, hogy az Ön szakterületén milyen repülési hatótávolságban véli lehetségesnek és szükségesnek a pilóta nélküli repülőgépek alkalmazását!

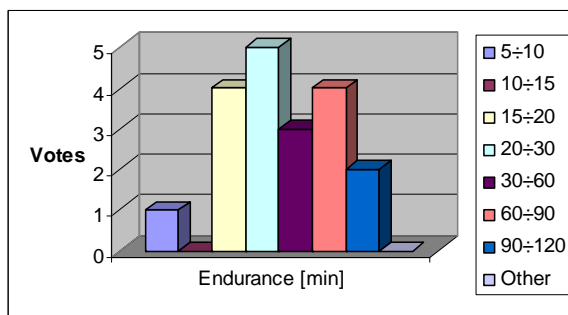
A válaszadók másik kisebb csoportja az $L_{\max} \geq 20 km$, valamint attól nagyobb hatótávolságot jelölte meg elvárt követelményként.



Következtetések:

Az UAV-k elvárt repülési hatótávolsága – a válaszadók egy jelentős része számára – az $L = (1 \div 20) \text{ km}$ tartományba esik.

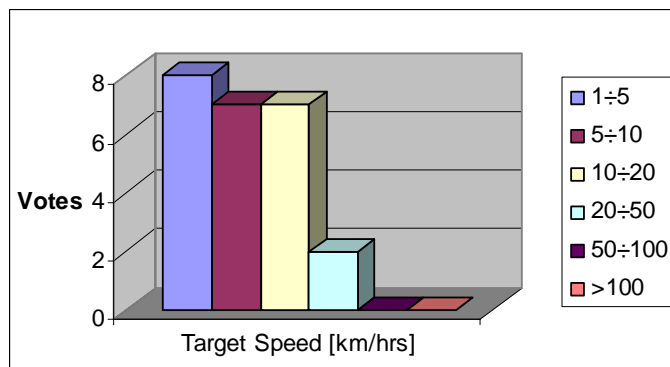
6. Adja meg, hogy az Ön szakterületén a pilóta nélküli repülőgépek milyen repülési idővel kell rendelkezzenek!



Következtetések:

A válaszadók által megadott értékek alapján elmondható, hogy a repülési idő $t_{rep} = (5 \div 120) \text{ perc}$.

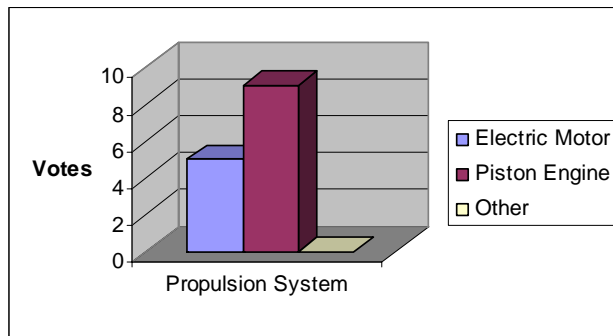
7. Adja meg, hogy az Ön szakterületén az esetleges felszíni mozgó objektumok, és személyek milyen sebességgel mozognak!



Következtetések:

A megfigyelés tárgyát képező tárgyak, objektumok, személyek, a válaszadók jelentős többsége esetében $v = (1 \div 20) \text{ km/h}$ sebességgel mozognak.

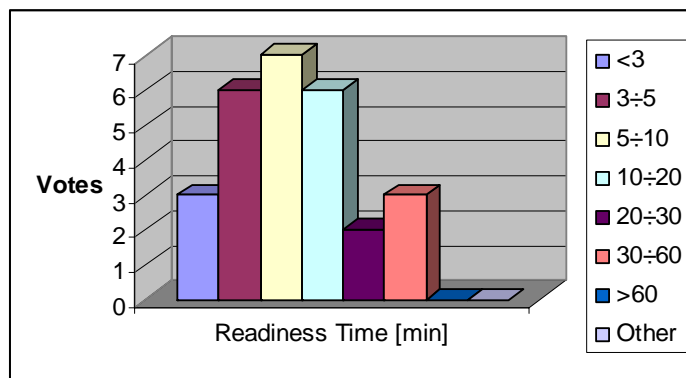
8. Milyen hajtás alkalmazását javasolja?



Következtetések:

A válaszadók egyértelműen a belsőégésű, dugattyús repülőmotort jelölték meg a repüléshez szükséges energia forrásaként.

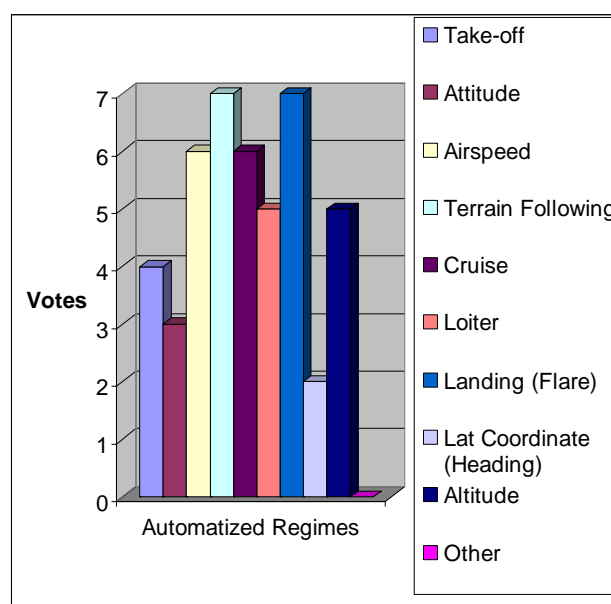
9. Adja meg, hogy az Ön szakterületén milyen készütségi idő mellett véli lehetségesnek a pilóta nélküli repülőgépek alkalmazását?



Következtetések:

A válaszadók többsége által megadott készütségi idő értéke $t_{készült} = (3 \div 20)$ perc.

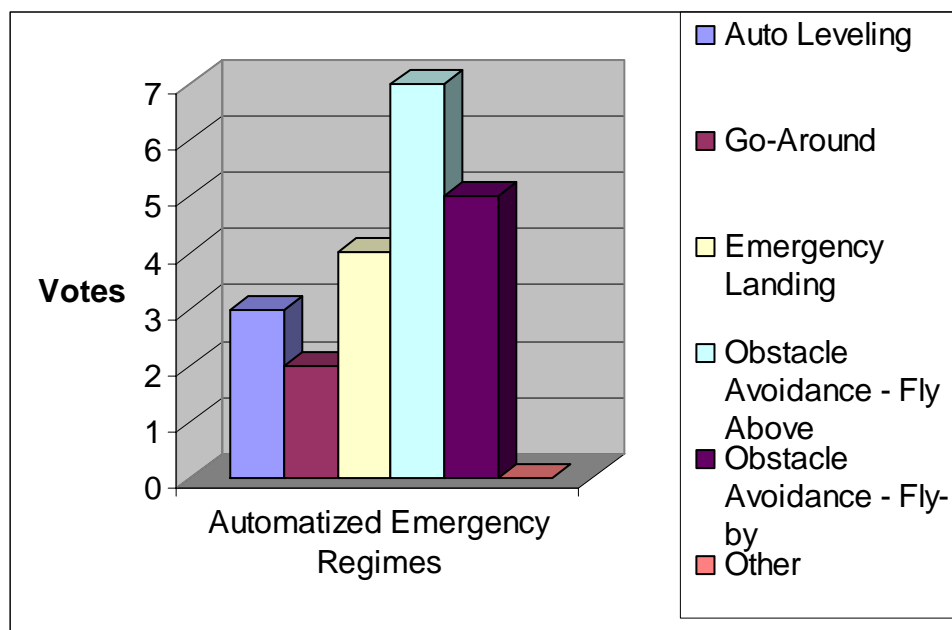
10. Adja meg, hogy az Ön szakterületén a pilóta nélküli repülőgépek földi és légi üzemeltetése mely fázisainak automatizálását látja szükségesnek?!



Következtetések:

A válaszadók számos repülési üzemmódot jelöltek meg, amely automatizálását szükségesnek vélik. Az eredmények, és azok sokrétűsége alapján megállapítható, hogy a „vásárlói” igények – gyakorlatilag – vadászgépszerű, vagy a legmodernebb polgári szállító repülőgépeken alkalmazott rendszerek képességeire tartanak igényt.

11. Adja meg, hogy az Ön szakterületén, vagy véleménye szerint a pilóta nélküli repülőgépek milyen veszélyes repülési üzemmódjainak automatizálást tartja szükségesnek!



Következtetések:

A válaszadók alapvetően a kényszerleszállás automatizálását, és a természetes és a mesterséges tereptárgyak átrepülését, és megkerülését végrehajtó vészhelyzetekben szeretnék bírní az automatizált repülés képességét.

IV. ÖSSZEFOGLALÁS

Az UAS-rendszerek széleskörű polgári-, és katonai alkalmazásának lehetősége ma már nem kérdés. A lehetséges alkalmazások egyes területein azonban felmerül a valós igény, hogy egyes esetekben nagyobb (pl. katasztrófa-elhárítási feladatok, rendvédelmi feladatok, határőrizeti feladatok stb.), míg más esetekben kisebb (pl. nemzeti parkok, természetvédelmi területek, tűzoltó alkalmazások stb.) repülési sebességgel repülni képes UAV álljon rendelkezésre. Nyilvánvaló, hogy az egyes alkalmazói igények kielégítése csak úgy történhet, ha más-más technológia szerint készített UAV-rendszert alkalmazunk. Magától értetődik, hogy pl. a nemzeti parkokban, természetvédelmi területen az adatgyűjtés villamos hajtású, forgószárnyas UAV-rendszerrel kell történnjen, máskülönben a repülési feladat értelmét is veszítheti (pl. madarak, és más állatok megfigyelése).

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] DR. HABIL. SZABOLCSI Róbert: *Pilóta nélküli repülőgépek polgári alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata*, Elektronikus Műszaki Füzetek IV, MTA Debreceni Területi Bizottság, Debreceni Akadémiai Bizottság, Műszaki Szakbizottsága, p(59–65), Debrecen, 2007.
- [2] DR. HABIL. SZABOLCSI Róbert – MÉSZÁROS György: *Pilóta nélküli repülőgépekkel szemben támasztott követelmények vizsgálata – a „Bravo-csoport”*, „Repüléstudományi konferencia – 70 éves a Légierő”, Repüléstudományi Közlemények, különszám, ISSN 1789-770X, 2008. április 11., Szolnok.
- [3] DR. HABIL. SZABOLCSI Róbert: *Pilóta nélküli repülőgépekkel szemben támasztott követelmények vizsgálata – az „Alpha-csoport”*, Elektronikus Műszaki Füzetek V, MTA Debreceni Területi Bizottság, Debreceni Akadémiai Bizottság, Műszaki Szakbizottsága, p(23–33), Debrecen, 2008.
- [4] DR. HABIL. SZABOLCSI Róbert: *Conceptual Design of Unmanned Aerial Vehicle Systems for Non-Military Applications*, Proceedings of the 11th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies VSDIA 2008, BUTE, 10-12 November 2008, Budapest, Hungary (in print).
- [5] DR. HABIL. SZABOLCSI Róbert: *Some Thoughts on the Conceptual Design of the Unmanned Aerial Systems Used for Military Applications*, XVI. Magyar Repüléstudományi Napok, BME, 2008. november 13-14, Budapest, (megjelenés alatt).
- [6] DR. HABIL. SZABOLCSI Róbert: *Egy felmérés margójára – néhány gondolat a pilóta nélküli repülőgépek polgári és katonai alkalmazásáról*, Szolnoki Tudományos Közlemények XII., HU ISSN 2060-3002, 2008.
<http://www.szolnok.mtesz.hu/sztk/kulonszamok/2008/cikkek/szabolcsi-robert.pdf>
- [7] DR. HABIL. SZABOLCSI Róbert – MÉSZÁROS György: *Pilóta nélküli repülőgép repülés-szabályozó rendszereinek minőségi követelményei*, „50 év hangsebesség felett a magyar légtérben” tudományos konferencia, 2009. április 24., Repüléstudományi Közlemények, On-line folyóirat, HU ISSN 1789-770X.
http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2009_cikkek/Szabolcsi_R-Meszaros_Gy.pdf
- [8] Prof. DR. SZABOLCSI Róbert: *Conceptual Design of the Unmanned Aerial Vehicle Systems for the Firefighter Applications*, Proceedings of the 10th International Conference “Scientific Research and Education in the Air Force” AFASES 2010, 27-29 May 2010, Brasov, Romania (in print).
- [9] Prof. DR. SZABOLCSI Róbert: *Conceptual Design of the Unmanned Aerial Vehicle Systems for the Police Applications*, Proceedings of the 10th International Conference “Scientific Research and Education in the Air Force” AFASES 2010, 27-29 May 2010, Brasov, Romania (in print).

VÁROSFEJLESZTÉSEK DISSZONANCIÁI.

KULCSÁR Attila DLA

főiskolai tanár
Debreceni egyetem Műszaki Kar
planeesplanum,kft@chello.hu

1. AZ INTEGRÁLT VÁROSFEJLESZTÉSI STRATÉGIA

A városfejlesztés elmélete és gyakorlata napjainkban divatos kutatási terület. Különösen azért mert az Európai Unió támogatások pályázatait egy új típusú munkarésszel kell alátámasztani, az Integrált Városfejlesztési Stratégiával. A tervek a civil szféra bevonásával, az érdekeltek kollektív bölcsességéből születnek, mint korábban a Településfejlesztési Koncepciók. .

A pályázatok a városok legféltebb részének a városközpont rehabilitációra irányulnak. Hiányzó közösségi épületek létrehozására, közösségi terek rekonstrukciójára, a városszövet fejlesztésére, a civil szféra bevonásával lakó-, és közösségi épületek és idegenforgalmi célú létesítmények megvalósításával

Az IVS-ekről szóló beszámolók arról győzték meg, hogy a városok nem törekszenek a főváros és a nagyvárosok landmark trendjeihez kapcsolódni. Idegen tollakkal ékeskedő sztárepítészek import, emblemikus épületeivel turisztikai célpontokat létrehozni, sokkal inkább a történelmi hagyományból építkező, táji gyökerű, néprajzi, a helyi társadalom meghatározó közösségének kulturális hagyományait reprezentáló szándékokat valósítanak meg. Vagyis a globalizáció tolakodását és technikai haladás áldásait, csak megtermékenyítő katalizátorként szeretnék használni a hagyományokat követő rekonstrukciókban. Kenneth Frampton kritikai regionalizmus tézise látszik érvényesülni a vidék építészetében, de ma már a világban is. A fenntartható, költségtakarékos megoldások a nyerők, a látványban kiteljesedő gazdaságtalan ikon-épületek helyett.

A városközpontok, településközpontok az épített környezet génbankjai a közösségek kultúrájának, történelmének lenyomata. Jelentőségük túlmutat az adott település hagyatékán, tájegységi nemzeti hagyományok őrzője, identitások forrása. A legfontosabb együttesek a világörökség részei, de a nemzeti örökség után a települési örökség és a személyes emlékek térfalai is legalább olyan jelentősek a lokálpatrióta számára.

Ismerjük a szlogent, hogy a város soha sincs kész. Fejlődik, növekszik, megújul, komfortosodik. Mindez akkor sikeres, ha kiegyensúlyozottan történik. A központ és a perifériák, az épületállomány és az infrastruktúra. A lakóházak és a közintézmények egyszerre és harmonikusan. A harmonikusság a struktúrától a részletekig vezető úton érhető tetten a kiegyensúlyozott fejlődésekben.

1.1. A történelmi városképek

Szerencsés városok azok ahol látszólag megállt az idő. Központjaik egységesek harmonikusak, ha voltak is disszonanciák, hamar begyógyították a sebeket, mert talán nem érte le őket a globalizáció, a piac nem tekintette őket vevőnek, és megmaradtak múzeumnak. De ez nem lenne így nélkülük, a közösség kollektív akarata, és fegyelme érződik ezeken a városokon. Cuzco (Peru) 3400 méter magasan az inkák 12. században épült fővárosa. A spanyol hódítás a struktúráján nem változtatott semmit, csak az indián templomok helyén épültek keresztény katedrálisok.. . Látható a beépítési struktúra, a városszövet sértetlensége, az anyaghasználat egységessége Szanaa (Jemen) 2200 méterrel a tenger szintje felett 2500 éve

lakott település jellegzetesen díszített vályogtéglákból épült város.(1.), Rovinj (Horvátország) istriai kereskedő város a 17. századból. mészkőből épült mediterrán cserepes házakkal.(2) Ezekben a városokban nem lehet akármit építeni senkinek. Minden falazat, héjazat azonos: Nincs termékforgalmazók korrumpáló versengése, A panel, kohósalak, porotherm, gázbeton, hidegen hagyta itt az építőket, Bramac, Tegola, Tondach, Lindab, VM Zink, Villas héjazatok színes zsisbvására hiányzik.. Nincsenek léptéket, városszövetet megzavaró plázák, piacok, házgyári beavatkozások. Nincsenek útnyitások szabályozási szélesség. Felmagasítás, hivalkodó reklámok. És talán boldogok e nélkül is. És mi ezekkel együtt se lehetünk kiegyensúlyozottak. Ezek a városok a világörökség részei, mert a globalizált világ is megbecsüli a komoly ellenfelet, aki képes megmaradni hagyományaiban - mint egy múzeum. A városok az egységesség szép példái

1.2.Tömeges lakásépítés, diktatúrák építészete, a disszonanciák kezdete.

De létrejöhet az egységesség másképp is, ám ne gondoljuk hogy ez elegendő. A társadalmi átalakulást forradalmian megoldani akaró társadalmi változások új struktúrákat hoztak létre. Jó esetben a történelmi városközpontoktól távol. Rövid idő alatt de egységes elvek szerint, kritika nélküli, diktatórikus, hatalmi eszközökkel Ezek a településszerkezetek is egységesek, csak nem alkalmasak az emberi közösségek életformái teljes körű megvalósítására. Lásd a Gazdagréti lakótelepet (3.) vagy Kína mega-lakótelepeit (4.) Alvóvárosok, a népesség egyik létállapotának biztosítanak téri keretet. Fegyelem és rend zöldbe ágyazva.

A történelmi városszerkezetek komplexek, összetettek, egyszerre biztosítanak helyet a kis és nagyközösségek számára, az otthon, munkahely, szórakozás, kulturálódás, pihenés és közlekedés bonyolult térszövetében, a településekben, városokban. Ezek a szövetek évszázadok alatt alakultak ki. Néha természeti, nemzeti, társadalmi földindulások okoznak disszonanciát szerkezetükben, belebontanak, elpusztítanak városrészeket: földrengések, vulkáni kitörések, szökőárok, tűzvészek, bombázások. Idegen hatalmak idegen koncepciói, települési szerepkörváltozások. Konjunktúrák, és perifériára kerülések a közösségek életében

2. NYÍREGYHÁZA SZERKEZETE, RÉGI TÉRFALAI, ÉS A JELENKOR.

Nyíregyháza városszerkezete is több évszázados képződmény. És ez idő alatt is mennyi korszak, irányváltás. Ha ránézünk a történelmi struktúrára láthatjuk, hogy a centrális sugaras szervezés mellett a lakótelkek zártosorú, hézagosan zártosorú, benyúló oldalszárnyakkal beépített szerveződésűek.(5) A központ felmagasodó lakótömbjei, középületekkel szegélyezett utcái viszonylag kis területet foglalnak el az egymásba nyíló terek mentén, eklektikus változatossággal, a városlakók szívéhez nőve. A házakat a kort neves fővárosi építészei tervezték. Alpár Ignác, Welder Gyula,Nagy Virgil, Szabolcs Gyula- Papp Ferenc, Kocsis Iván A városfejlesztés gazdasági kérdés is. A népesség szaporodása új, nagyobb intézményeket, a szolgáltatások bővítését igénylik. Ezt vertikálisan és horizontálisan kell megvalósítani, beépítési sűrítéssel, és felmagasítással, a növekedéssel együtt, hogy az infrastrukturális kiszolgálásuk gazdaságos legyen és finanszírozható. Hát ide kell a figyelem, ha kell erőszak, és ha lehet megengedés, a bónusz-málus módszer szerint.

2.1. A Hatvanas évek szerkezeti beavatkozásai

A tömeges lakásépítés mindenhol aránytalanságokat eredményezett. Szerencsés városokban ez a perifériákon történt. A központi szerepkör nagyarányú népességnövekedése miatt, sok városban a történelmi központokba is belebontottak, a lakótelep a belvárosig ér, vagy új

jellegetlen középületek kerültek historikus környezetbe. Szerencsére a jelenkor már nem a modern építészet – „megforgatjuk az egész világot”, eszmei és technológiai diktatúrájával dolgozik. De rombolásai máig se gyógyultak be, mert a történelmi városközpontokban visszabontás kellene, ha eltakarásra nincs hely, Perez Rodrigó del Arc várostranszformációs metodikájával sem.

2.2. A rendszerváltás lakásépítése piaci vállalkozásban

Amikor a rendszerváltás után az állam kivonult a lakásépítésből de az élet nem állt meg, az igények kielégítése a vállalkozói tőkére maradt a piac törvényei szerint aki a maga öncélú haszonszerzésével napi érdekek mentén gondolkodik. A hagyományt és a jövő kritikáját is kiálló városépítkezés ismét háttérbe szorult. A hatalom szabályok alkotásával próbálta kordába tartani a piacot, de nincs ereje azok betartatására, és a haszonelvű építés betódult a történelmi belvárosokba, mert ott minden adva van. Utak, közművek, szolgáltatások, zöldterületek. Csak új lakásnégyzetméterek hiányoznak, gépkocsi garázsok, és parkolók és üzletek. Mindezt a régi lakótömbökben, a történelmi térfalak között. Jól, rosszul.

2.3. A környezeti beágyazódás problémái Nyíregyháza példáján

A történelmi városközpontokban a középületek kiemelt helyen álltak: terek hangsúlyos falaként, semleges struktúrákkal körülvéve, rávezetve, beágyazva. A városi főterek térfalkaként. A felvidéki, erdélyi, alföldi, cipszer, szász, magyar alapítású települések. Lőcse, Kassa, Besztercebánya, Brassó, (6.) Szepesszombat, (7.) Kecskemét, Debrecen, Nyíregyháza. stb. A középületek minden város karakteres egyedi épületei. De beágyazódva a történelmi de semleges lakóház, polgárház, bérház, palotasor foglalatában, mint ékszer hangsúlyozódik. Ha ezek egymás mellé kerülnek akkor óhatatlanul egymással feleselő, egymást túlszárnyalni akaró kakofóniába állnak össze, mint egy világkiállítás nemzeti pavilonjai. De ott éppen ez a cél. A nemzetek meg akarják mutatni sajátos építészetüket, kultúrájukat. Képek a Hannoveri Világkiállítás néhány pavilonjáról

Nyíregyházán a városfejlesztés sajátosságaként új körútrendszer van kiépülőben. De ezt a körutat nem lakóházak szegélyezik. Hanem építészeti pavilonok. Ami helyén való egy Világkiállításon, hogy a nemzeti karaktert bemutassa az építészet eszközeivel, lásd Észtország, Hollandia, (8.) Svájc, (Zumtor) Magyarország, Venezuela (9.) pavilonjait Hannoverben, vagy korábban Sevillában. Az disszonáns lehet egyéni kvalitások bemutatására egy városi utca térfalában.

2.4. Nyíregyházi „világom” kiállítás

A középületek a társadalom reprezentánsai, szervezethegének mutatói. De a Vay Ádám körút mentén a középületsor egy-egy építész magamutogató attrakciója. Egyenként talán figyelemre méltó épületek, de együtt „világom-kiállítás”, széteső utcakép, egymáshoz igazodni nem akaró szakmai sikereket hajhászó modern építészeti kirakat.

A körút épületei az északi oldalon: Városi Sportcsarnok, (Tóth István) Európa Szálló, (Szilágyi Miklós) SZMT Székház, (10.) Megyei Művelődési Központ, (Bán Ferenc) Korzó Üzletház, (11.) (Bán Ferenc, László Zoltán, Tisza András, Tenkely Szabolcs) lakóház, (Kulcsár Attila) Kelet áruház, (Bartha István). A déli oldalon: Dómus áruház, ma Tesco és Ysk áruház, (Pecsenye Béla) Kodály Zoltán Általános Iskola, (Balázs Tibor) Városi Galéria, Galéria Kereskedő ház, (Kulcsár Attila) Lakóházak, (Tükrössy Attila) Univerzum Üzletház. (Szilágyi Miklós Végh József) - egymás melletti épület-szobrok.

A településtervezőnek alibije van, mert ő biztosan nem ilyen vegyes funkciójú térfalra gondolt a központ szélén. A lakóházak tervezőinek is, mert efféle házak kellettek volna sorban, a körút mentén, mint a meglévők. A Művelődési Központ még szobornak készült, de az újabban épült középületek a zárt sorúknak szánt térfalakban mind szabadon állóak, és afféle épület-attrakciók, emlékművek.

3.4. Léptékváltás, problémái

A népesség növekedése a város területét horizontálisan növeli. De központját az új középületek és a beillesztés igénye ezzel együtt felmagasítja. A közműhálózat jobb kihasználása is a intenzívebb beépítést indokolja. Így a lakóterületek emeletszáma is megnő a központ körül. De ez a léptékváltás az utcai építménymagasságokban további disszonanciák forrása. Az szintszámok, légtérarányok megváltozása sokéves provizórikus állapotokat szülnek. Amíg ez tömb méreteiben történik és az utcák által határolt övezetben, elviselhető. Lásd Debrecen esetében a Csapó utca mentén. Az amerikai befektető 15 emeletes projektje afféle Manhattan-szerű szigetet hozott volna létre itt a cívis városban, amely Nagytemplom tornyát is jóval meghaladta építménymagassággal (13.). Szerencsére nem ez a változat valósult meg, hanem a Finta műhely terve, amely emberibb léptékű és a kisebb rossz.

Nyíregyházán a Sólyom utca - Holló utcai tömb átépítés lassan befejeződik, a 9-10 méteres utca mentén sorakozó földszintes házsor a történelmi telkek átépülésével négy-öt szintesre magasodott fel az elmúlt húsz év alatt. Jó hogy megmaradt a régi városszerkezet az utcák nyomvonala, de rossz, hogy egymásra néznek a közeli emeletekkel, minimális zöldterületekkel, az udvaron és a közterületen. (14.) Pozitívum, hogy minden lakáshoz garázs tartozik. Mégis napközben a kocsik az utcán állnak, mert csak az udvaron vannak garázsbejáratok, az utcai földszint a szolgáltatásoké. Állnak az autók mindenütt, mert 300 méteren belül biztosítottak nekik elég parkolót. Ezek a lakások legalább csak egymást zavarják zsúfolt beépítésükkel., A belváros közelsége lehet a vonzerejük, és hogy lassan az átépítés befejeződik.

A lakások piaci helyzete jellemző a mai korra. Egy vállalkozó eladásra épít, a kivitelező minél nagyobb haszonra tervez. A vevő bérbeadásra gondol, a vásárló nem tekinti végleges otthonnak a megoldást. Ez csak a minőség rovására mehet. Minden résztvevő átmeneti állapotra gondol. Pedig volna mit védeni.

Régi Nyíregyháza polgárházai, középületei a kialakult utcák mentén zárt sorú, hézagosan zárt sorú beépítéssel a történelmi belváros értékei. Vakolatarchitektúrájú eklektikus homlokzatai a Krúdy-i világot idézik. A Dózsa György utcán, Szent István utcán, Széchenyi utcán, Bocskai utcán, és sokfelé

3.5. Reklámok a rombolás buldózerei

A városkép rombolás előretolt buldózerei az üzletnyitások az utcai fronton. Okosabb városok nem engednek ajtót nyitni az utcai homlokzaton . Csak a kapualjakon feltárt belső udvarokban Pécs, Sopron. Nálunk szabad a gazda, néha lépcsőkkel, de reklámokkal mindig, minden szoba üzletté válik és ordenáré összevisszaságban múlik el a ház régi szépsége. Lásd a Széchenyi utca mentén (15.) A reklámok ellen nincs ellenszer. Nagyok, harsogók, színesek, világítanak, dadognak, – többször is elmondják ugyanazt. Ma már csak műemléki környezetben engedélykötelesek A költő víziója, a Notre-Dame tele reklámokkal.

3.6. És a túlépítés.

A telek drága volt vagy olcsó, - mindegy. Minél több eladható lakásterületet kell létrehozni rajta. A telkek beépítését HÉSZ övezeti előírásai szabályozzák. A beépítési százalék és az építménymagasság. Főleg az utóbbival szoktak visszaélni. Az építménymagasság a korábbi szintesség előírásától az utcai homlokzatmagasságon át számtalan visszaélésre ad alkalmat.(16.) Az ereszt egyenlő homlokzatmagassággal. Kitalálták az álmanzardot az építési hatóság szemet hunyásával. Még egy szintet be lehetett építeni szinte.(17.) Aztán jött tetőfelépítmények szinte a teljes homlokzati hosszban. A negyvenöt fokos szög alá vonható tetőfelépítmények, amely alatta néha két padlástéri szint is elfér. Majd az Átrium melynek párkánymagassága nem számít bele az építménymagasságba. Aztán a benyúló utcai szárnyak, melyek a régi L alakok helyett „H”, „T” „U”, alakú beépítésekkel tárják fel a mély telkeket. A szomszédok érdeksérelme ellenére. AZ OTÉK az események után kullog. A hatósági munka felületes, Az ellenőrzésre nincs ember és idő. A kivitelező, az építő nagyobb mértékű ki. A gerinc magasabb mint hat méter, meredekebb mint 45 fok Ki mászik fel, hogy utána mérjen az átadáskor. Ma már a szintterületi mutató ami megpróbálja elejét venni a visszaéléseknek. Vagy a rendeltetési egység meghatározása a telek területére vetítve. Könnyebb ellenőrizni mint a bonyolult tetőidomú építménymagasságot. De ami megtörtént azt nem bontják le, nem bírságozzák meg: Az ott marad a városépítés örök szegényére, a közreműködők vállalkozók, tervezők, kivitelezők, műszaki ellenőrök, hatóságok, korrupt vagy csak felületes összejátszásának eredményeként, városi sebhelynek, illeszkedési hibának.

De szerencsére a városrekonstrukciók jó példákkal is szolgálnak. Igényes, és jó építész megtalálja a zárt sorú beépítések harmonikus összeillesztését. Vannak tanítható módszerek az eltérő korú, szintszámú és stílusú épületek egymás mellé építésére.

4. A FOKHÍJBEEPÍTÉSEK, ILLESZKEDÉSEK HARMONIKUS PÉLDÁI, FÉNY AZ ALAGÚT VÉGÉN

A foghíjbepítésben a házak egymás folytatásai. A telkenkénti átépítés kvázi foghíjak létrehozása, és beépítése... A védett környezetbe való építés, pláne műemlékhez való illeszkedés kiemelt figyelmet kap. Az Örökségvédelmi Hivatal túlbiztosít határozataiban. Csak ablakokkal lyukasított falas, osztópárkányokat ismétlő, rizalitokat, kváder folytató, ereszt és tetőidomot szolgáló módon megismétlő olyan jellegtelen épületet engedélyez amelyik nem konkurál a védett épülettel, hanem alázatos szürke egébként annak neutrális környezetét alkotja.

A keveseknek megadatott megoldás: amikor az új ház olyan attraktív hogy a régieket foglalkésként maguk hatása alá vonják, és megbocsátható minden különbségük. F. O Ghery prágai táncoló háza ilyen. Fred Aszter és Ginger Rogers tánca mindent lenyűgöz. A ház illeszkedésből mozdul attrakcióvá (18.).

Dévényi Sándor Villámsúlytott háza Pécsen a régi és az új áthatása iskola példája. Az új házban felidézett történelmi tagozatok és azoknak a modern átlényegülése egy látványos szerkezeti metszettel, villámsúlytott módra.(19.)

Bán Ferenc Nyírbátori Művelődési Háza is jó példa Balra műemlék, jobbra újkori lakóház loggiákkal. A megoldás egy óriási vasbeton portál, kapuépítmény, amely mintegy idézőjelbe teszi, képernyőként keretezi be a visszaugratott síkban megvalósított a modern függönyfalas homlokzatot (20). A régit az újba beépítő és ráépítő illeszkedés (Tót László háza) A Híd-szerű horizontális struktúrájú megoldás tűnik jónak, amikor a történelmi stílusjegyeket hordozó két eltérő párkánymagasságú házat egy visszahúzott tömegű semleges, sávós tömeg kapcsol össze, Bakos László háza a Széchenyi utcán. (21.) És a párkányokat

összehozó tagozatokkal, a szomszédos épületek anyaghasználatát, formaelemeit egyesítő egyveleg épület is jó recept Alpár Ignác eklektikus szállodája és az üveghomlokzat összebékítésére. A párkánymagasságok, ereszek, felépítmények finom összeillesztése látható Finta József,(22) Bán Ferenc, Balázs Mihály, (24) Tóth László, Kulcsár Attila (23) zárt sorú foghíj-beépítéses csatlakozásainál Nyíregyházán.

Az illeszkedés intelligencia és érzékenység. Nincsenek receptek, csak tehetség és akarat.

A várost mi alakítjuk, mi formáljuk harmonikussá: építészek, építők. A házak, városok, ránk hasonlítanak. Ne hagyjunk pontot örökölni utcáink térfalaiban

EGY SZEMCSE EGYENSÚLYA: KINEMATIKAI HATÁROZATLANSÁG ÉS STATIKAI HATÁROZOTTSÁG

EQUILIBRIUM OF ONE GRAIN: KINEMATICALLY INDETERMINATE AND STATICALLY DETERMINATE SYSTEM

LÁMER Géza

főiskolai tanár
DE, Műszaki Kar, Építészmérnöki Tanszék
glamer@mfk.unideb.hu; lamer@emma.hu

Kivonat: A tanulmányban egy szemcse egyensúlyával, azon belül a kinematikai határozatlanság és statikai határozottság kérdéseivel foglalkozunk. Egy merev test egyensúlyát a támaszok biztosítják. Egy merev testet többnyire rögzített húzó-nyomó és hajlító igénybevétel felvételére alkalmas támaszok rögzítik. Szemcsék esetén csak nyomó igénybevétel ébredhet a támaszban, és a támasznak képesnek kell lennie mozogni, hiszen maga a szemcse mozog az alatta lévő szemcséken. Ezért megvizsgáljuk azt is, hogy milyen, a szemcse mechanikai viselkedését visszatükröző támaszviszonyokkal lehet egy szemcse egyensúlyát biztosítani. Végül a kinematikai határozatlanság és statikai határozottság kérdésének keretén belül rámutatunk arra, hogy a hárompontos feltámaszkodás hipotézis esetén egy szemcsehalmaz mechanikai állapota egyértelműen meghatározható.

Kulcsszavak: szemcse, szemcsehalmaz, kinematikailag határozatlan és statikailag egyensúlyozható állapot, a hárompontos feltámaszkodás hipotézise

Abstract: In the lecture we deal with the equilibrium of one grain, inside in it with the kinematically indeterminate and statically determinate systems. We examine the character of the support of grains. We introduce the idea of the one-, two-, three-, four- and five-parametric supports. We show that in the case of grains – only compressive force can be come into being and the support must be able moving, because the grain moves on three others – the supports there are many-parametric. We show that in the three-dimensional case, when the supports consist of three points, i.e. the three points support is hold, the equilibrium is based on there formally two- practically three-parametric supports We how also the equilibrium can be guaranteed with the kinematically indeterminate and statically determinate character of the system in the same time.

Keywords: grain, grain aggregation, kinematically indeterminate and statically determinable state, hypothesis of the three-point blocking-up

1. BEVEZETÉS

A szemcse egyszerűen összefüggő, sima, (szigorúan) konkáv, izometrikus alakzat, amelyet fizikailag (abszolút) merev testnek tekintünk. A szemcsehalmaz alatt érintkező szemcsék halmazát fogjuk érteni. Ebből az következik, hogy egy szemcsehalmazban a belső erőket akkor lehet egyértelműen meghatározni, ha a halmaz mechanikai állapota határozott, azaz ha az ismeretlenek meghatározását lehetővé tevő lineáris algebrai egyenletrendszer együtthatómátrixának a rangja megegyezik az ismeretlenek számával. Ugyanakkor egy szemcse véletlenszerű elrendezésben található az alatta lévő szemcséken, és általános esetben semmi sem biztosítja, hogy a szemcse az adott helyzetben az adott terhelés mellett egyensúlyozható lenne. Ezzel együtt a szemcse az alatta lévő szemcsékkel az érintkezést megtartva elmozdulhat, és felvehet egy olyan helyzetet, amelyben az adott teher már egyensúlyozható. Ennek feltétele – mint azt korábban már megmutattuk –, hogy álljon fenn a két-, illetve hárompontos feltámaszkodás hipotézise. (Lásd [1].)

2. A KÉT-, ILLETVE HÁROMPONTOS FELTÁMASZKODÁS HIPOTÉZISE

A síkbeli és térbeli abszolút merev szemcsékből alkotott szemcsehalmozok viselkedésének a leírásához bevezetjük a két-, illetve hárompontos feltámaszkodás hipotézisét. (Lásd [1].)

A kétpontos feltámaszkodás hipotézise (síkbeli feladat): a szemcsehalmoz (majdnem) minden szemcséje két másik szemcsére támaszkodik fel.

A hárompontos feltámaszkodás hipotézise (térbeli feladat): a szemcsehalmoz (majdnem) minden szemcséje három másik szemcsére támaszkodik fel.

Megjegyzés: a majdnem minden kitétel elsősorban az edény falával érintkező szemcsékre vonatkozik.

3. A TÁMASZOKRA VONATKOZÓ FELTÉTELEK, HA A SZEMCSÉRE HATÓ ERŐRENDSZERT $N = 6, 5, \dots, 2$ REAKCIÓERŐ EGYENSÚLYOZZA

3.1. Általános megjegyzések

A merev testek statikájából ismert, hogy az egyensúlyt az eredő erőkre és az eredő nyomatéokra vonatkozó egy-egy vektoregyenlet tükrözi vissza. Ezek összesen hat skaláregyenletként fogalmazhatók meg. Az is ismert a merev testek statikájából, hogy hat csuklós, azaz egyirányú alátámasztás elegendő tetszőleges terhelés (ha úgy tetszik eredő erő és eredő nyomaték) egyensúlyozásához. A hat támasz nem lehet tetszőleges, mert részben pillanatnyi mozgáscentrumok miatt a megoldás nem stabil, másrészt, ha támaszok hatásvonalai egybeesnek, akkor előfordulhat, hogy a merev testre ható erő (teher) nem egyensúlyozható azzal a támaszrendszerrel. (Arról nem is beszélve, hogy a feladata statikailag határozatlanná válik.) A fent említett „nem lehet tetszőleges” kifejezést az algebra nyelvén célszerű megfogalmazni: a felállított (lineáris) algebrai egyenletrendszer együtthatómátrixának rangja meg kell, hogy egyezzen a hattal. Ezeket a feltételeket maguktól értetődőnek tartjuk, ezért a lentebb elvégzett vizsgálatokban ezeket már nem említjük.

A szemcsék esetében még egy megkötés jelentkezik: a szemcsék között csak nyomóerő ébredhet, ezért az eredő erő és a támaszok egymáshoz viszonyított helyzete is kötött. Erre az egyensúly vizsgálatánál még visszatérünk.

Végül megemlítjük, hogy vizsgálat valójában arra irányul, hogy ha a támaszok száma nem hat, hanem annál kevesebb, akkor milyen támaszokat kell alkalmazni ahhoz, hogy az egyensúly mégis egyértelműen biztosítható legyen. Az együtthatómátrix rangjára vonatkozó feltétel miatt a válasz egyértelmű: a támasznak belső szabadságfokkal kell bírnia, hogy az ismeretlenek száma hat lehessen.

A továbbiakban támaszpontok száma alapján végezzük a vizsgálatainkat.

Ehhez először megvizsgáljuk, hogy egy támasz hány paraméteres lehet.

3.2. A támaszok paraméterfüggése

Megjegyzés: az első paraméter az erő nagysága. Ezt az ábrákon egy erővel jelezzük, e mellett a szögváltozót, illetve az eltolódás lehetséges szabadságfokait tüntetjük fel.

Egyparaméteres támasz

T_1 . Rögzített támaszpontú és rögzített irányú támasz

Kétparaméteres támaszok

$T_{2/A}$. Egy egyparaméteres, változó támaszpontú, de rögzített irányú támasz. Ez utóbbi

fizikailag a szemcse felületén egy görbe mentén elmozdítható, de a szemcse felületével rögzített helyzetet felvevő (többnyire a normálist vesszük tekintetbe) támaszként alakítjuk ki.

$T_{2/B}$. Rögzített támaszpontú, de egy rögzített síkban tetszőleges irányú támasz. Ez utóbbit fizikailag két azonos támaszpontú, de rögzített irányú támaszként alakítjuk ki. (Szemcsénél nem jöhet számításba.)

Háromparaméteres támaszok

$T_{3/AA}$. Egy kétparaméteres, változó támaszpontú, de rögzített irányú támasz. Ez utóbbi fizikailag a szemcse felülete mentén elmozdítható, de a szemcse felületével rögzített helyzetet felvevő (többnyire a normálist vesszük tekintetbe) támaszként alakítjuk ki.

$T_{3/AB}$. Egy egyparaméteres, változó támaszpontú, és egy rögzített síkban tetszőleges irányú támasz. Ez utóbbi fizikailag a szemcse felületén egy görbe mentén elmozdítható, de a szemcse felületével rögzített síkban lévő támaszként alakítjuk ki. (Szemcsénél nem jöhet számításba.)

$T_{3/BB}$. Rögzített támaszpontú, de tetszőleges irányú támasz. Ez utóbbit fizikailag három azonos támaszpontú, de rögzített irányú támaszként alakítjuk ki. (Szemcsénél nem jöhet számításba.)

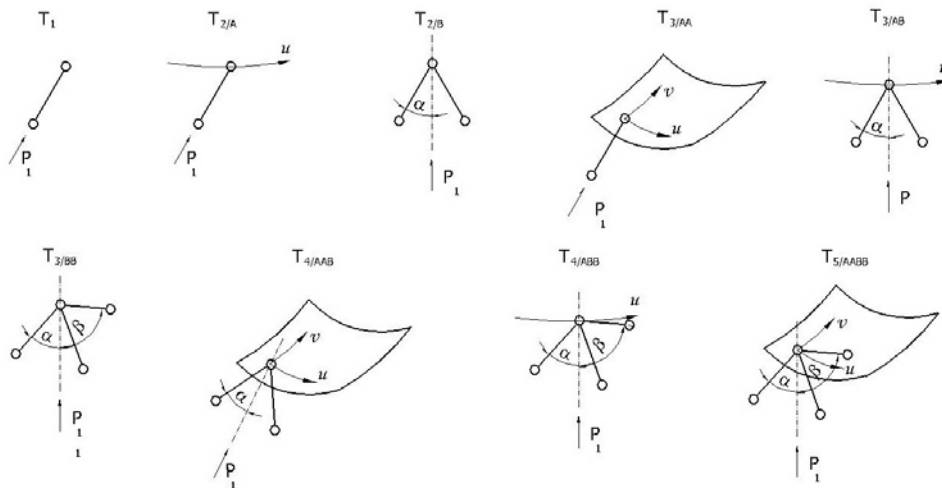
Négyparaméteres támaszok

$T_{4/AAB}$. Egy kétparaméteres, változó támaszpontú, és egy rögzített síkban tetszőleges irányú támasz. Ez utóbbi fizikailag a szemcse felülete mentén elmozdítható, de a szemcse felületével rögzített síkban lévő támaszként alakítjuk ki. (Szemcsénél nem jöhet számításba.)

$T_{4/ABB}$. Egy egyparaméteres, változó támaszpontú, és egy tetszőleges irányú támasz. Ez utóbbi fizikailag a szemcse felületén egy görbe mentén elmozdítható három azonos támaszpontú, de rögzített irányú támaszként alakítjuk ki. (Szemcsénél nem jöhet számításba.)

Ötparaméteres támasz

$T_{5/AABB}$. Egy kétparaméteres, változó támaszpontú, és egy tetszőleges irányú támasz. Ez utóbbi fizikailag a szemcse felülete mentén elmozdítható, három azonos támaszpontú, de rögzített irányú támaszként alakítjuk ki. (Szemcsénél nem jöhet számításba.)



1. ábra A különböző paraméterszámú támaszviszonyok

Megjegyezzük, hogy hatparaméteres támasz nem létezik. (A csavarás támaszként nem értelmezhető, csak befogásként.)

A továbbiakban megadjuk a támaszpontok száma szerinti lehetséges eseteket. A

szemcséknél nem lehetséges (a B indexű) eseteket nem tüntetjük fel.

3.3. A támaszpontok száma szerinti vizsgálat

$n = 6$

Hat T_1 .

$n = 5$

Négy T_1 + egy $T_{2/A}$. {Négy T_1 + egy $T_{2/B}$.}

$n = 4$

Három T_1 + egy $T_{3/AA}$. {Három T_1 + egy $T_{3/AB}$, illetve egy $T_{3/BB}$.}

Két T_1 + két $T_{2/A}$. {Két T_1 + két $T_{2/B}$.}

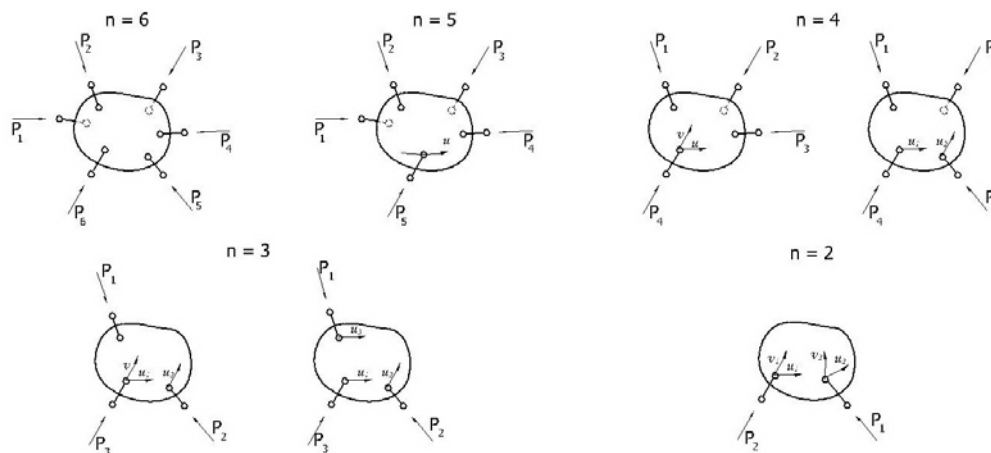
$n = 3$

Egy T_1 + egy $T_{2/A}$ + egy $T_{3/AA}$. {Egy T_1 + egy $T_{2/A}$ + egy $T_{3/AB}$, illetve egy $T_{3/BB}$, valamint egy T_1 + egy $T_{2/B}$ + egy $T_{3/AA}$, vagy egy $T_{3/AB}$, illetve egy $T_{3/BB}$.}

Három $T_{2/A}$. {Három $T_{2/B}$.}

$n = 2$

Két $T_{3/AA}$. {Két $T_{3/AB}$, vagy két $T_{3/BB}$.}



2. ábra A támaszokra vonatkozó feltételek, ha a szemcsére ható erőrendszert $n = 6, 5, \dots 2$ reakcióerő egyensúlyozza

Megjegyezzük, hogy legkevesebb két támasznak kell lennie.

Megjegyezzük azt is, hogy mivel a szemcse mozog másik három szemcsén, ezért az érintkezés három további feltételt teljesülését írja elő. Ennek okán valójában három támasz kell, hogy létezzen és azok háromparaméteresek kell, hogy legyenek. Így a tényleges támasz három $T_{3/AA}$. (Lásd [1].)

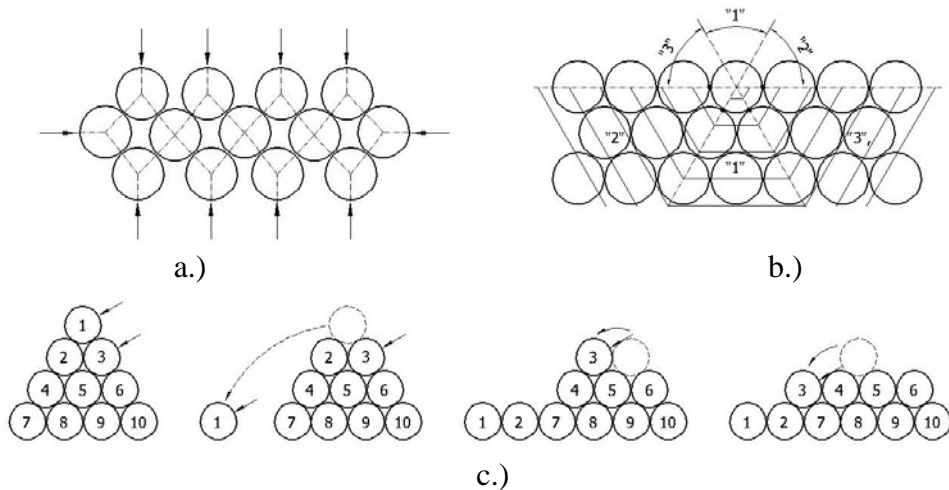
4. EGY SZEMCSE EGYENSÚLYA: KINEMATIKAI HATÁROZATLANSÁG ÉS STATIKAI HATÁROZOTTSÁG

Egy szemcse, tehát egy egyszeresen összefüggő, sima, (szigorúan) konkáv, izometrikus alakzat, amelyet fizikailag (abszolút) merev testnek tekintünk két, illetve három szemcsén támaszkodik a szemcsehalmazon belül. A geometria elrendezés nem szavatolja automatikusan, hogy a szemcsére ható erőt képes legyen egyensúlyozni. Példaként a síkbeli feladatban kör, illetve tetszőleges alakú szemcséket mutatunk be. Az ábrákon megmutatjuk azokat a síkbeli tartományokat, amelyen belül ható erő esetén a szemcse

statikailag egyensúlyozható, és megmutatjuk azokat a tartományokat is amelyen belül ható erők – az adott geometriai elrendezés mellett – statikailag nem egyensúlyozhatók.

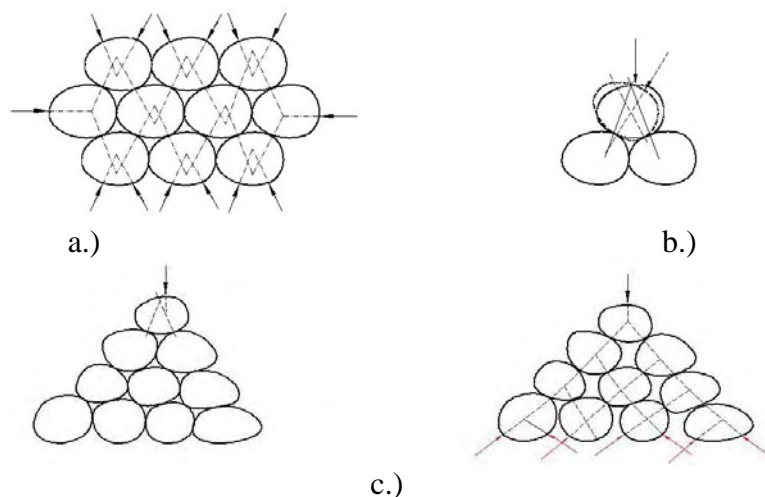


3. ábra Statikailag egyensúlyozható és nem egyensúlyozható erők: kör és tetszőleges alakú síkbeli szemcsék esete



4. ábra A kinematikai határozatlanság centrális erőrendszer esetén; síkbeli kör alakú szemcsék esete

a: centrális erőrendszer; b: a támaszpontok átrendeződése az érintkezési viszonyok megváltozásával; c: a szemcsehalmaz átrendeződése



5. ábra

A kinematikai határozatlanság hurkolódó erőrendszer esetén; síkbeli tetszőleges alakú szemcsék esete

a: hurkolódó erőrendszer; b: a támaszpontok átrendeződése a szemcse döntően forgó mozgásával; c: a szemcsehalmaz átrendeződése

A kör alakú szemcsék esetén mind az erő, mind a reakcióerő hatásvonala egy ponton, a kör középpontján halad keresztül. Ezeket az erőrendszereket centrálisnak nevezzük. Amennyiben egy centrális erőrendszeren belül nem egyensúlyozható erő(k) hatnak, úgy az egyensúly két eltérő módon állhat be. Az egyik, hogy a szemcse marad az adott szemcsék között, de a szemcse a körülötte lévő szemcsék közül más szemcsékre fog támaszkodni. A másik, hogy a szemcse kimozdul a helyzetéből, mintegy legurul a halmazon – ennek során az erő hatásvonala térben elmozdul –, és a szemcse korábban nem körülötte lévő szemcsék közé ágyazódik be.

Tetszőleges alakú szemcsék esetén az erők és a reakcióerők hatásvonala nem (feltételen) halad át egy ponton, ugyanakkor a terhelő erők és a reakcióerők egy-egy ponton haladnak át, amely pontokat egy egyenes köti össze. A síkbeli feladatban ez mindig igaz, a térbeliben kitérő hatásvonalak esetén nem áll fenn. Mégis, a síkbeli feladat analógiájára mindezeket az erőrendszereket hurkolódónak nevezzük. Amennyiben egy hurkolódó erőrendszeren belül nem egyensúlyozható erő(k) hatnak, úgy fentebb említett két eseten kívül az egyensúly további két eltérő módon állhat be. Az egyik, hogy a szemcse marad az adott szemcsék között, de addig mozog (többnyire forgásról van szó) a szemcse az alatta lévő szemcséken, amíg az egyensúly be nem áll. A másik, hogy a szemcse kimozdítja az alatta lévő szemcséket – ennek során az erő hatásvonalának térben elmozdul –, és a szemcse korábban nem körülötte lévő szemcsék közé ágyazódik be.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az előadásban egy szemcse egyensúlyával, azon belül a kinematikai határozatlanság és statikai határozottság kérdéseivel foglalkoztunk. Megvizsgáltuk, hogy egy szemcse támaszai milyen jellegűek lehetnek. Bevezettük az egy-, két-, három-, négy- és ötparaméteres támaszok fogalmát. Megmutattuk, hogy a szemcsék esetén – ahol csak nyomó igénybevétel ébredhet a támaszban, és a támasznak képesnek kell lennie mozogni, hiszen maga a szemcse mozog az alatta lévő szemcséken – a különböző többparaméteres támaszok jöhetnek számításba. Megmutattuk azt is, hogy a térbeli feladatnál, a hárompontos feltámaszkodás hipotézis fennállása esetén, az egyensúlyt három, formálisan két-, valójában háromparaméteres támasz képes biztosítani. Ennek kapcsán megmutattuk, hogy egy szemcsehalmaz mechanikai állapotának egyértelmű meghatározását éppen az teszi lehetővé, hogy a rendszer kinematikailag határozatlan és statikailag határozott.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] LÁMER GÉZA, DR.: Az anyagi viselkedés folytonos és diszkrét modellezésének kérdései = In: Mérnökgeológia-Közetmechanika 2010. Konferencia (Budapest, 2010. március hó 25.) Szerk.: Török Á. – Vásárhelyi B., Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2010. [A Mérnökgeológia-Közetmechanika Kiskönyvtára 8. kötet] pp. 123-146

AZ OLTÁR HELYE A JERUZSÁLEMI TEMPLOMBAN

THE ALTAR'S PLACE IN THE TEMPLE OF JERUSALEM

CSANÁDY Gábor DLA

főiskolai tanár
Debreceni Egyetem Építésznérnöki tanszék
csanady@mk.unideb.hu

Kivonat: Annak ellenére, hogy a Nagy Heródes féle egykori Második Templomot régen lerombolták, még ma is viták központja. Az épület azért is fontos, mert egy felépítendő harmadik templomnak szolgál mintaként. Jakobson szerint a templom oltára az épület tengelyében állt, Leen Ritmeyer szerint „kristály tiszta”, hogy nem állhatott tengelyben, mert az teljesen ellentmond a Misna leírásának. Szerintem az oltár szükségképpen a templom tengelyében állt, és Ritmeyer félreértelmezi a Misna leírását, amikor a 'remainder' (maradvány) szót romként értelmezi és nem a következő félsor szerinti helyre méri fel.

Kulcsszavak: oltár, templom, tengely, Ritmeyer, Jeruzsálem

Abstract: Despite the fact, that the Ancient Temple the Second had built by Herod the Grate had destroyed long time ago, the building is centre of discussions nowadays also. The building also important because its use as model of the 3rd Temple is going to build. Jakobson said that the altar has stand in the axis of temple, Leen Ritmeyer said that it is „crystal clear”, that did not, because it is direct contradict with the By my opinion the altar had to stand in the axis of the temple, and Ritmeyer misunderstood the description of the Misna, while the 'remainder' term explain as ruin, and did not measure it by the place as had written in the next line.

Keywords: altar, temple, axis, Ritmeyer, Jerusalem, Yerushalajim, Herod, Jacobson, 3rd

1. A HERÓDES FÉLE MÁSODIK TEMPLOM

1.1. Bevezetés

A Jeruzsálemi templom egykori épülete ma is a világ egyik legnagyobb érdeklődést kiváltó létesítménye, a zsidó vagy judaista vallás egyetlennek mondott temploma. Nem átlí ma eza templom, a helyén, a Templom Hegyen a Szikla mecset és az Al Aksa mecset áll a fallal megemelt szent területen a Haram-on.

1.2. Rövid története

A Salamon által Kr.e. 950 körül építtetett első templom Kr.e. 586-ban Nabukodonozor kezétől, (2Kir 25,9.13–16) elpusztul. Nem ez a végső állapota: Kurasz ediktuma alapján (2Kron 26,23) Kr.e. 515-ig újra felépül. Nagy Heródes az Kr.e. I. században újjáépíti és kibővíti un. második templomot. Úgy tűnik a magasság kiépítése, a pilon bővítése mégsem az ő műve, hanem Simon papé, aki megelőzte Heródest. Kr.u. 70-ben Titusz kezétől végképp elpusztul, (Moorey 1975). A rómaiak templomot emelnek a hegyen. Julianus aposztata ugyan megpróbálkozik az eredeti zsidó templom felépítésével, de kudarcot vall. A mohamedán előretörés a hetedik században saját kultuszépületeket emel a helyszínen.

1.3. Aktualitása

Az érdeklődés nem lankad. Könyvtárnyi szakirodalom és számtalan cikk foglalkozik az épülettel, újabb és újabb elméletek és kutatási eredmények kerülnek napvilágra, miközben

egyes rabbik már a harmadik templom felépítésén gondolkodnak.¹ Elkezdődött és a befejezéshez közel van a kultikus kellékek elkészítése, képezik egy Jeshiva iskolában a kohanita papokat és elkezdődött a templomnak nem csak a tervezése, de a hozzá való köveknek az előírásoknak megfelelő legyártása is. Szinte minden hónap új régészeti felfedezéssel szolgál és a Templom Hegy a politikai villongások középpontjába került. A templom egyes részeit részletesen ismerjük, másoknak a megismerésére sem sok esély van és vannak kérdések, amelyek sok vitát váltanak ki.

2. A KÉRDÉSFELVETÉS

2.1. Amit az oltár helyéről tudni lehet

Az egyik ilyen vitatott kérdés az oltár elhelyezése a templom udvarán belül. Egyes kutatók szerint ugyanis a templom tengelyében helyezkedett el az oltár (Jacobson²), mások szerint pedig „kristály tiszta,” hogy nem. (Ritmeyer³) Az első vélemény mellett fogunk érvelni, cáfolva az ellenvéleményeket.

2.2. A felhasznált források

A Jeruzsálemi Templom elsődlegesen a Biblia leírása, Josephus Flavius leírása valamint a Misna-Middot⁴ leírásából ismerhető meg, mivel az adott területen, a templomhegyen ásatás jelenleg nem végezhető és korábban sem végeztek ott ásatást. A rekonstrukciós leírások ezen forrásokon alapulnak.

Igaza van Leen Ritmeyernek: egyetlen forrás sem említi kimondottan, hogy Salamon oltára a templom tengelyében állt volna. Josephus nem is beszél róla, a Biblia is csak érintőlegesen, tehát elsősorban a Misna-Middot leírására lehet támaszkodni.

2.3. A Misna-Middot

A Misna-Middot leírás a templom pusztulása után keletkezett, és nyilvánvalóan támaszkodik a még éppen élő szemtanúk emlékeire és támaszkodhat a helyszínen meglévő romok ismeretére. A leírás akkor válik fontossá, amikor a szemtanúk száma erősen csökkenni kezd, következésképpen fontossá válik, hogy a tudásuk írásban rögzítésre kerüljön. Ha azok emlékeznek életük vége felé, mondjuk hetven éves korukban, akik még látták a templomot a pusztulás, Kr.u. 70előtt, mondjuk tízéves korukban, akkor a Misna keletkezésére körülbelül Kr.u. 130-at vehetünk fel. Ez nem sokkal előzi meg a Bar Kohba felkelést, ami tehát a zsidó öntudat újbóli megerősödésének ideje is lehet.⁵ Így érthető, ha 60 év után Rabbi Eliezer, akit gyakran idéz a szöveg már nem emlékszik, mi volt a Nők Udvara negyedik sarkában.

¹ Vö. <http://www.templeinstitute.org/magyar/fooldal.htm>

² David Jacobson amerikai kutató. Bővebben személyéről:

http://www.bcuc.ac.uk/faculties/technology/staff_profiles/dr_david_jacobson.aspx

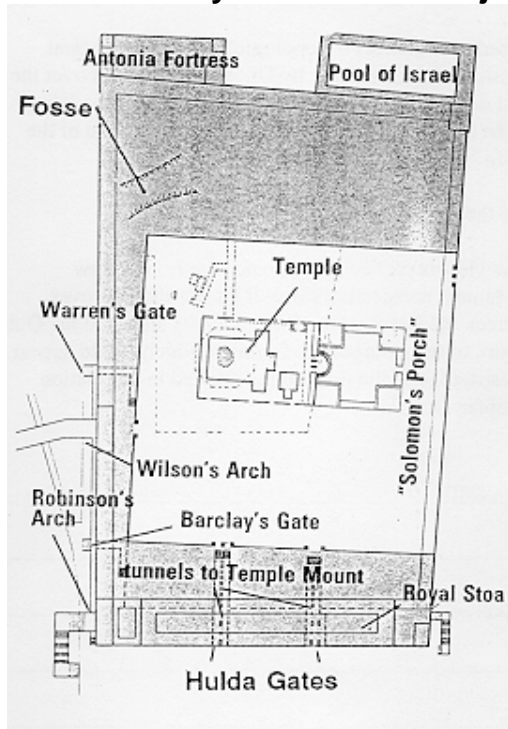
³ Leen Ritmeyer tájépítész, az ő régészeti rekonstrukciós rajzai a Jeruzsálemi Templomról igen elterjedtek, nemcsak szakmai körökben. Doktori disszertációja is a Templom-heggyel foglalkozik.

⁴ A Biblia, a Tóra szövegét és parancsolatait évszázadok és évezredek során kutatták és magyarázták a rabbik. A szóbeli magyarázatok első kodifikált gyűjteménye a Misna.

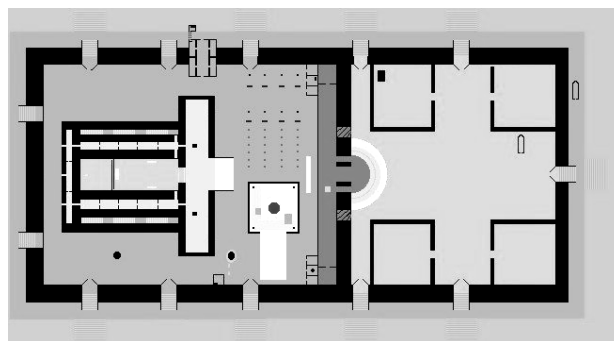
⁵ A rabbik szerint a Misnát kb. három generációval a templom pusztulása után írták.

3. REKONSTRUKCIÓK A MIDDOT TRAKTÁTUS ALAPJÁN

3.1. Leen Ritmeyer rekonstrukciója



Leen Ritmeyer rekonstrukciós rajza



Richley H. Crapo⁶ rekonstrukciós rajza⁷

A Misna-Middot leírását követve Ritmeyer megpróbálta rekonstruálni a templomot udvaraival együtt. Lényegében az ő logikáját követve szerkesztette fel a templom alaprajzát Richley H. Crapo és H. Peter Aleff⁸.

Mindketten úgy ábrázolják az oltárt, mint aminek a tengelye 21,5 könyöknyire délebbre van, mint a templom tengelye. Oszítja ezt a vélekedést L. Ritmeyer is, amikor Jakobson bírálata közben azt írja, a Misna leírásából „kristálytisztá”, hogy az oltár nem lehetett a templom tengelyében. Szerintem pedig épp ellenkezőleg: az oltárnak épphogy a templom tengelyében kellett lennie. Először tehát megpróbálok rámutatni az érvelés gyenge pontjára, majd érveket hozok fel a tengelyes elrendezés mellett.

3.2. A Ritmeyeri rekonstrukció felszerkesztése

A Misna-Middot 5.2 megadja a belső templomudvar méreteit könyökben délről észak felé:

- 62 a rámpa és az oltáralap
- 8 az oltár alaptól a gyűrűkig
- 24 a gyűrűk tere
- 4 a gyűrűktől az asztalokig
- 4 az asztaloktól a kis oszlopokig
- 8 kis oszlopoktól a templomudvar faláig

Ami marad, az a rámpa és a fal közötti távolság és a pillérek helye – írja a Mishna.

Megadja az teljes méretet is: 135 könyökben.

P. Aleff tehát veszi a rámpát: 30 könyök, az oltár alapot: 32 könyök, a térközt: 8 könyök, a

⁶ Richley H. Crapo, Utah State University

⁷ Bővebben személyéről: <http://cc.usu.edu/~fath6/Tmplemnt.htm>

⁸ H. Peter Aleff, mérnök kutató és tervező, további adatok: <http://www.recoveredsience.com/aboutus.htm>

gyűrűk helyét: 24 könyök, a térközt az asztalokig: 4 könyök, a másik térközt: 4 könyök a kis oszlopokig és a térközt a falig, és mögé méri fel a $135-62-8-24-4-4-8 = 25$ könyöknyi méretű „maradvány”⁹-t, és eszerint rendezi el az oltárt is. A „maradvány” a rámpa és a fal között fekszik¹⁰ így a mérethor végére felmérni (az eleje helyett) nem indokolt. Leen Ritmeyer professzor is ezen a ponton téved nézetem szerint.¹¹

3.3. Problémák a rekonstrukcióval

Véleményem szerint először a „maradék”, azaz a 25 könyök nagy részét kell felvenni, mert ez van a rámpa és a fal között, utána következhet a többi méret. Ami marad a maradékból azzal a pillérek körül igazítandó ki a méret.

Nyilvánvaló dolog, hogy a rámpa nem indulhat közvetlenül a faltól (mint azt P. Aleff ábrázolásán szerepel), hanem – mint azt minden tervező tudja – ott egy a rámpa szélességének megfelelő – sőt annál kissé hosszabb – pihenőnek kell következnie. Azaz a rámpa nem tapadhat a falra.

4. SZEMPONTOK A REKONSTRUKCIÓHOZ

4.1. Hiányzó pihenő a rámpa előtt

P. Aleff a rámpa szélességét az oltár húszszor húsz könyöknyi belső mérete szerint, azaz húsz könyökkel veszi fel. A rámpa szélességével, P. Aleff szerint 20 könyökkel vagy még egy kicsit többel kellene a rámpát eltartani a faltól, hiszen a rámpára való ráforduláshoz is szükséges az a szélesség, ami a rámpa szélessége, ha azonos forgalmat feltételezünk. A rámpa szélessége a Middot 3:3 szerint 16 könyök széles (és 32 hosszú). Nos, ha 21,5 könyökkel toljuk el a rámpát a faltól, vagy másképp fogalmazva 21,5 könyöknyit használunk fel a „maradvány”-ból, az oltár hajszálpontosan a templom tengelyébe kerül.

4.2. Az oltár és a belső szentély méretének egyezése

Az oltár mérete a maga 20/20 könyöknyi méretével pontosan megfelel a szentek szentje 20/20 könyöknyi méretének. Az alépitmény ennél 6-6 könyökkel szélesebb, ami pedig a szentély körítő falának felel meg, amint arra utal is P. Aleff rajza. Ráadásul az alépitmények mérete is egységesen 6 könyök magas, azaz a külső oltár szinte megismétli a belső szentély méreteit. Ez a méret-megfelelés, ez a rend sokkal logikusabb egy vetítő helyzetű elrendezés esetén, mint egy véletlenszerű elrendezésben. Így a szentély erőterében áll az oltár, amire ráerősít a részletekre is kiterjedő méretazonosság.

⁹ Az angol szövegben szereplő kifejezés 'remainder', ami lehetne éppen épületmaradvány, azaz rom is.

¹⁰ Mishna-Middot 5.2 „From north to south was a hundred and thirty-five cubits: the Ramp and the Altar measured sixty-two; from the Altar to the rings was eight cubits; the place of the rings was twenty-four; from the rings to the tables was four cubits; from the tables to the pillars four; from the pillars to the wall of the Temple Court was eight cubits; and **the remainder lay between the Ramp and the wall** and in the place of the pillars.” „Északról délre 135 könyök volt: a Rámpa és az Oltár mérete hatvan kettő; az Oltártól a gyűrűkig nyolc könyök; a gyűrűk helye huszonnégy; a gyűrűktől az asztalokig négy könyök; az asztaloktól az oszlopokig négy; a pillérektől a Templom Udvar faláig nyolc könyök; és **a maradvány a Rámpa és a fal** és a pillérek helyén feküdt.”

¹¹ Ritmeyer: „When one transfers these distances to a plan, it is crystal clear that the Temple and the altar did not stand on the same axis. The altar stood to the south of the longitudinal Temple axis. Thus, Jacobson's pattern is in direct contradiction to Middot.” „Amikor valaki alaprajzzá fordítja ezeket a méreteket, kristály tiszta, hogy a Templom és az oltár nem áll ugyanazon a tengelyen. Az oltár délre áll a Templom tengelyétől. Így Jacobson modellje homlokegyenest ellentétes a Middottal.”

4.3. Az oltár a kelet-nyugati irányban a templomhegy tengelyében áll

Érdemes felfigyelni arra is, hogy az oltár kelet-nyugati irányban a templomhegy méreteként megadott 500 könyökön belül egy könyök pontossággal középen van. Ha kelet-nyugati irányban ennyire fontos a tengelyesség, ahol pedig szinte nem is érzékelhető, mennyivel inkább fontos ez észak-déli irányban.

4.4. Tengelyes szerkesztés

A tengelyre szerkesztettség végig vonul az épület együttesen: egyazon tengelyen sorakozik a szentély épület, a Nikánor kapu, a nők udvara és az Ékes kapu, sőt az olajfák hegyén az a hely is, ahol a vörös tehenet égeti el a főpap. Miért pont az oltár, a kultuszközpont lépne ki ebből a tengelyből? „Belépek Isten oltárához, az Úrhoz, ki megvidámít engem” – írja a 43. zsoltár. A központ az oltár és a szentek szentje: a fő helyre kell kerüljön, nem mellékes dolog. Ha kicsit messzebbre tekintünk az időben, Salamon minden bizonnyal ismerte az egyiptomi templomokat, hiszen (egyik) felesége az egyiptomi fáraó lánya volt, sőt az építéshez használt könyök mérete is egyiptomi eredetű. Nem túlzás tehát arra gondolni, hogy nem csupán a templom követte az egyiptomi templomok tengelyre szerkesztettségét, de az oltárt is ugyanazon logika szerint helyezték el.

4.5. Kerek 100 könyök

Végül érdemes még arra is rámutatni, hogy a tengelyben elhelyezett oltár 110 könyöknnyire van a szentek szentje tengelyétől, és 100 könyöknnyire annak bejáratától, ami mégiscsak szerkesztettebbnek tűnik, mint a P. Aleff által megadott 113,0630 könyök. (Peter Aleff a π , az e, a gyök kettő és az aranymetszés arányainak felhasználásával vél egy bonyolult rendet felfedezni a templom alaprajzában. Érvelésének gyenge pontja, hogy réztenger alakjának leírásakor átmérőt és területet ad meg a szentírás, és mindkét helyen ahol ezt a méretet leírja, a Krónika éppúgy, mint a Királyok Könyve 3,0-ás π -vel számol. Sőt sehol nem számol törtekkel.) A 100 könyök a templom keleti homlokzatának hossza és 100 könyök az épület hossza is, sőt a Misna Middot szerint a Templom magassága is 100 könyök. A 100 könyök nyilván egy szakrális méretrendbe illeszkedik, a 113,0630 könyökről ez nem mondható el.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Összefoglalva tehát szerintem az oltár tengelyben kellett elhelyezkedjen, ez felel meg a szerkesztésnek, a tengelyre szerkesztettségnek, a szentélyből kivetülő méretrendnek. Így válik használhatóvá a rámpa, és ez felel meg a Misna-Middot leírásnak is. És jöllehet valóban nem említi forrás, hogy tengelyben lett volna, az ellentettjét sem állítja. Az oltár ezért minden bizonnyal tengelyben volt.

FELHASZNÁLT IRODALOM

Aleff, H. Peter: #, : <http://www.recoveredsience.com/const308TempleLayout.htm>

Crapo, Richley H. (2002):

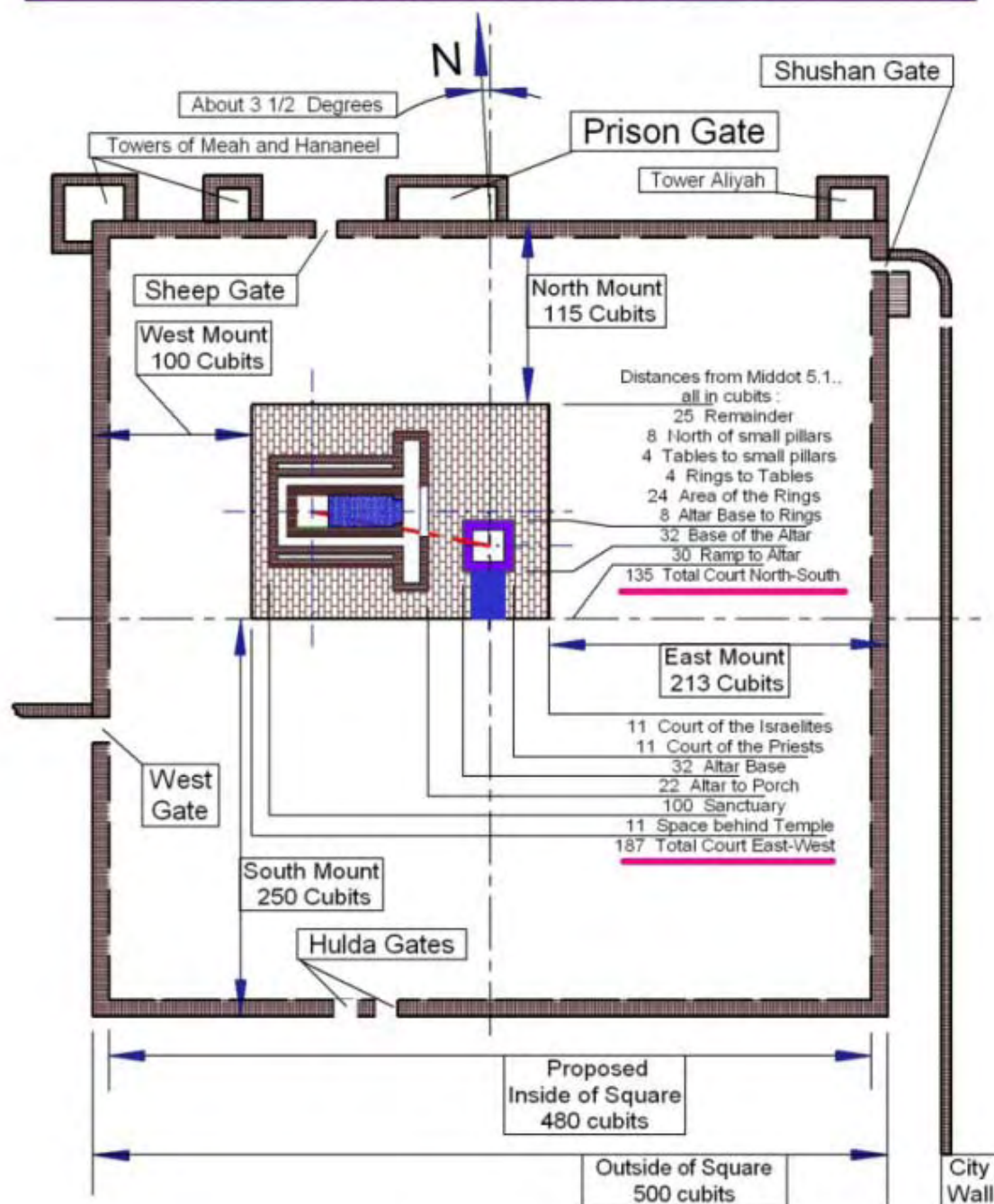
Jacobson, David:

Moorey, P.R.S. (1975): *Biblical Lands*. Elsevier, Lausanne; (1985. *Bibliai Tájak*. Bp. Helikon)

Ritmeyer, Leen: Response to Other Theories, Response to Jacobson,

<http://homepage.ntlworld.com/ritmeyer/theories.html>

The Layout of Solomon's Temple Mount



The layout of King Solomon's Temple Mount, adapted from Leen Ritmeyer's drawings in "The Temple and the Rock". Mount size from Middot 2.1., as quoted by Ritmeyer, page 20, and Rosenau, page 186. Distances inside the Temple Court from Middot 5.1., quoted by Ritmeyer page 49. The distances from Mount edge to Court edge are from the 16th century CE commentary on Middot by Tosefot Yom Tov, per Ritmeyer page 22. Gates and structures outside the Mount walls are scaled from Ritmeyer pages 15 and 17.

H. Peter Aleff rekonstrukciós rajza a méretek felszerkesztésével. A Misna-Middot által megadott méreteket mechanikusan veszi fel, és így az oltár délre van a templom tengelyétől. Szerintem az oltár közepén, tengelyben van.

KÉTRÉTEGŰ NYÍLÁSZÁRÓK FELÚJÍTÁSÁVAL ELÉRHETŐ ENERGIA-MEGTAKARÍTÁS

ENERGY SAVING BY RENEWAL OF DOUBLE-LAYER WINDOWS

KOVÁCSNÉ PLAJOS Katalin

doktorandusz

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
kneplakat@gmail.com; plakat@mfk.unideb.hu

Dr. SZÉLL Mária

egyetemi tanár

BME Építőmérnöki Kar Magasépítési Tanszék
szell.maria@met.bme.hu

Kivonat: Magyarország végenergia felhasználása 2008-ban 672 PJ volt, amiből a lakossági szektor 40%-ot (273 PJ-t) használt el. Ennek az energiamennyiségnek 65%-a a fűtést fedezi. Ez az érték az épületek energetikai minősége, szerkezeteik és épületgépészetük állapota miatt ilyen nagy.

A homlokzati nyílászárókon keresztül - transzmisszió és légcseré útján - az összes energia 16%-a távozik el. Felújítással a homlokzati üvegezett nyílászárókra a 7/2006 (V. 24.) TNM rendeletben meghatározott követelményérték $U_{nyz} = 1,6$ [W/m²K] teljesíthető (a korábbi $U_{nyz} = 2,9 - 2,05$ [W/m²K] helyett). A szerkezetek felületi mennyiségeivel és az előírásoknak megfelelő teljesítmény-változásokkal végzett számítások eredményei konkrét adatokkal támasztják alá a kétrétegű nyílászáró szerkezetek felújításának szükségességét, mikro- és makrogazdasági hasznát.

Kulcsszavak: nyílászáró-csere, felújítás, energia felhasználás, gazdaságosság

Abstract: Hungarian nation's total energy demand was 672 PJ in 2008. The heating made up 65 % (177 PJ) of the total energy consumed (273 PJ) - which is 40% of the total national energy consumed - by the Hungarian population. Energy quality, structures and building engineering of Hungarian buildings are out of order which gives rise to high energy demand.

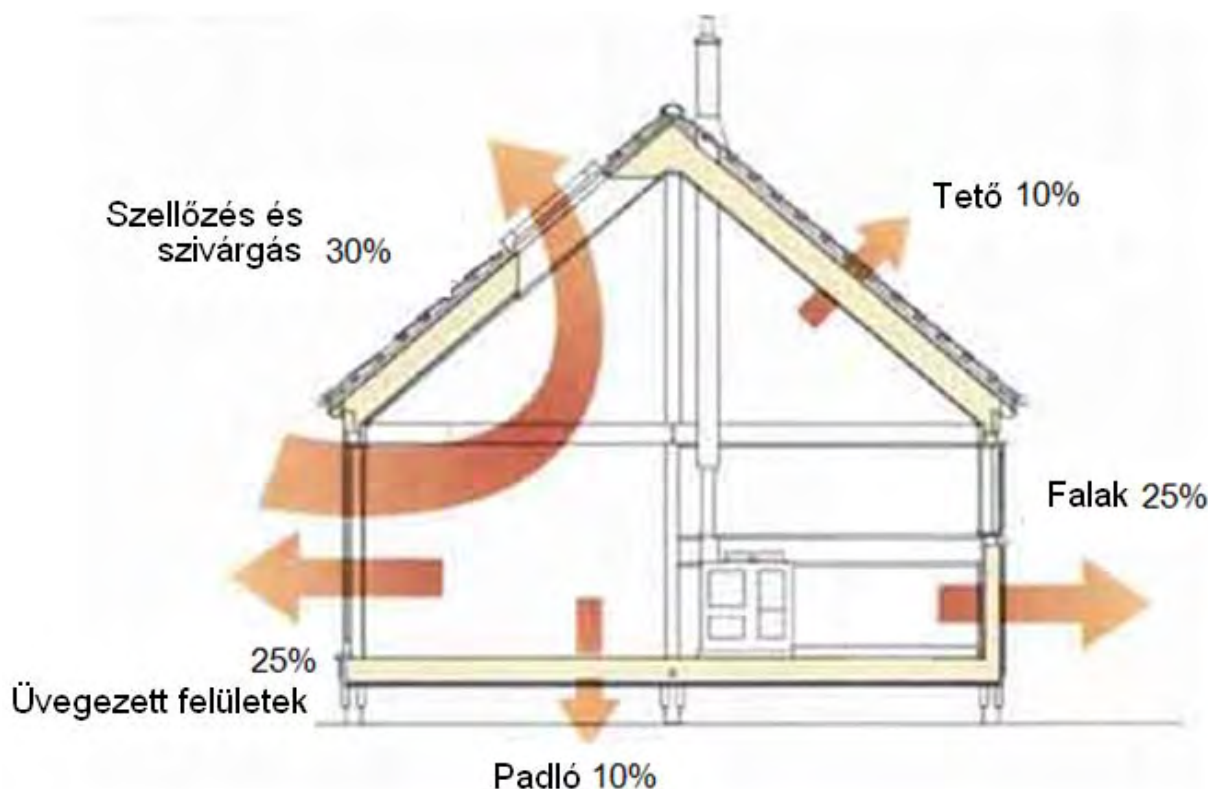
Buildings lost 16% of total energy through surface windows by transmission and air change. $U = 1,6$ [W/m²K] value can be realized by renewal of windows. This new value is recorded in the 7/2006. (V.24.)TNM decree. Older value was $U = 2,9 - 2,05$ [W/m²K]. Calculation with areas of windows and capacity-changes can show the usefulness of window renewals on micro- and macroeconomic level.

Keywords: windows replacement, renewal, energy using, economy

1. ÉPÜLETEK ENERGIAFELHASZNÁLÁSA

A magyar kormány a 2002/91 EU direktívában foglaltaknak megfelelően a 7/2006. (V.24.)TNM rendelettel vezette be az épületek energia felhasználásának szabályozását. Az épületekre vonatkozó szigorítást indokolja, hogy Magyarországon 2008-ban a teljes energia igény 672 PJ (672×10^{15} J), amiből 40% – ez 273 PJ-t (273×10^{15} J) jelent – a lakossági szektorban került felhasználásra (egyetlen más szektor sem támasztott ekkorra energia igényt). [1]

A háztartásokon belül a felhasznált energia 75%-a fordítódik a fűtésre. [2] Ez az érték az épületek energetikai minősége, szerkezeteik és épületgépészetük állapota miatt ilyen nagy. Az energia veszteség megoszlását mutatja be az 1. ábra.



1. ábra Épületek energia vesztesége [3]

Az üvegezett felületeken keresztül valósul meg az energia veszteség 25%-a transzmisszió és légcseré útján. A direkt szellőztetési légcseré nem küszöbölhető ki, de a nyílászárókra jellemző filtrációs és a transzmissziós értékek felújítással redukálhatók.

Azonban statisztikai adatokkal kimutatták, hogy 1999 és 2003 között az 529 ezer lakott lakásnak csupán 14,1%-ánál végeztek el nyílászáró cserét, hőszigetelést. Az épületek kora és kor szerinti eloszlása ettől nagyságrendekkel több épületnél indokolná az energetikai felújítást.

2. KÉTRÉTEGŰ ABLAKOK

Magyarországon a felújításra váró ablakok $42,500 \times 10^6 \text{ m}^2$ felületet jelentenek. Ennek típusonként megoszlását mutatja az 1. táblázat.

Szerkezet típus	Mennyiség $\times 10^6 \text{ m}^2$	%
palló- és kapcsolt tokos ablakok	32,130	75,6
egyesített szárnyú ablakok	8,640	20,3
hőszigetelő üvegezésű ablakok	1,730	4,1
összesen	42,500	100

1. Táblázat Felújításra váró nyílászárók típus szerinti megoszlása

A nyílászárók, ezen belül is a kétrétegű nyílászárók felújítása fokozott körültekintést és technikai megoldás terén megfontolást igényel. Ugyanis a nyílászáró alapján – amennyiben az stílustörő átalakításon nem esett át – az épület életkora 10-20 év pontossággal behatárolható.

A nyílászárók szakszerűtlen felújítása, átépítése folytán történelmi utcaképek, történelmi épületek sérülhetnek, tűnhetnek el. Egy rossz példát mutat be a 1. kép.



1. kép Felújított és eredeti ablak ugyanazon homlokzaton [4]

3. ENERGETIKAI NYERESÉG

Az épületszerkezeteken egységnyi felületen egységnyi idő alatt egységnyi hőmérsékletkülönbség mellett átadott hőáramot az U tényező mutatja meg. Ennek meghatározása ablakok esetén történhet táblázatból; számítással (egyszerű, részletes) vagy méréssel.

A hőátbocsátási tényező értéke a régi, hagyományos szerkezeteknél $\sim 2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Az új energetikai szabályozásban (7/2006. (V.24.)TNM rendelet):

homlokzati üvegezett nyílászáró (fa vagy PVC keretszerkezettel): **$U=1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$** .

A transzmissziós hőveszteség meghatározása az alábbi egyenlettel történik [5]:

$$Q_r = U_e A (t_i - t_e) \quad , \quad (1)$$

ahol:

- Q_r – hőáram [W];
- U_e – a szerkezet hőátbocsátási tényezője [$\text{W/m}^2\text{K}$];
- A – a szerkezet felületének nagysága [m^2];
- t_i – külső levegő hőmérséklete [K];
- t_e – belső levegő hőmérséklete [K].

A fenti képlethez szükséges adatok:

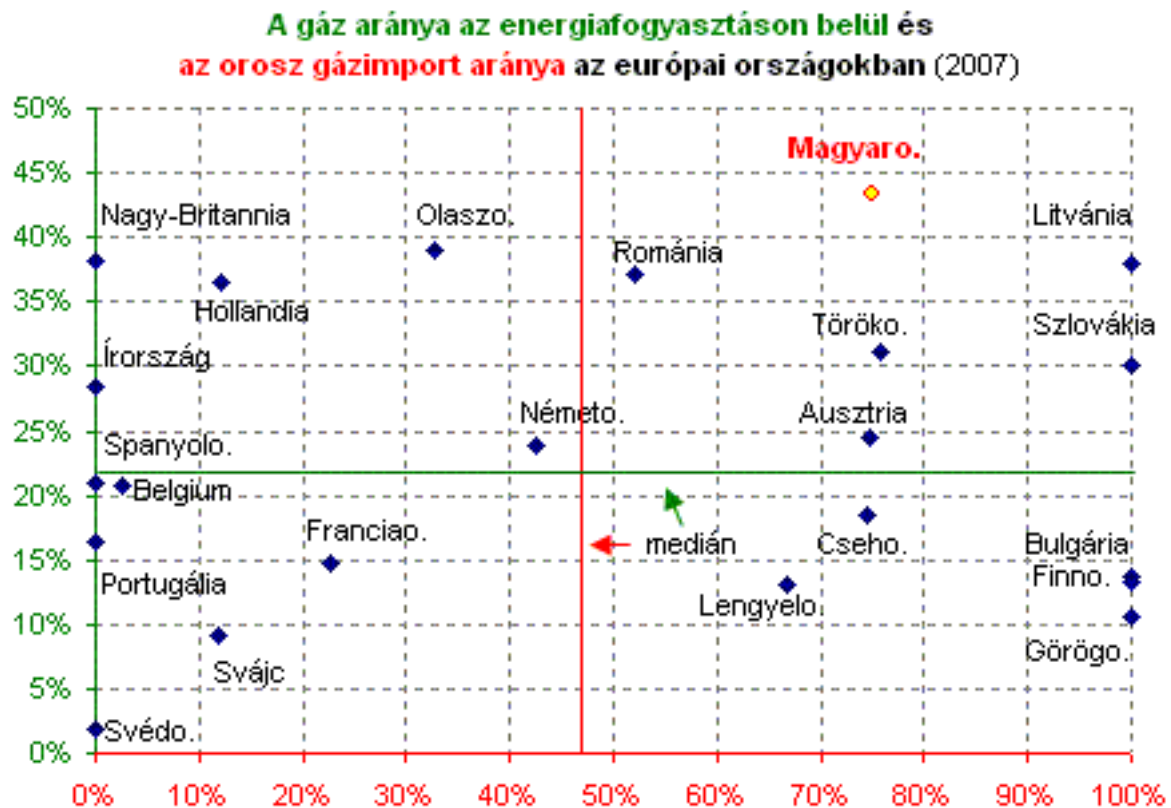
- szerkezet hőátbocsátási tényezője: célszerűen csak a változás értékét kell venni
 $\Delta U_e = 2,4 - 1,6 = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- a szerkezet felületének nagysága:
 $A = 32\,130\,000 \text{ m}^2$ (palló és kapcsolt tokos nyílászárók felülete)
- külső levegő hőmérséklete:
A 2009/2010-es téli fűtési szezonra vonatkozó adatok: $\sim -2^\circ\text{C}$ (271 K). [6]
- belső levegő hőmérséklete:
Optimális belső hőmérséklet: 21°C (294 K).

Ezeket az értékeket behelyettesítve a fenti képletbe az eredmény:

591 MW (megawatt) energiát lehet megtakarítani!

4. MAKRO- ÉS MIKROGAZDASÁGI HATÁSA

Az Európai Unió tagországainak együttes energiahordozó importja az előrejelzések szerint 2030-ra kőolajból és földgázból átlépheti a 80%-os értéket – vagyis ezekből az energia hordozókból a felhasznált mennyiség 80%-át importból lehet majd csak fedezni. Ez egyre nagyobb gazdasági terhet ró majd az adott országokra.



2. ábra Gázfelhasználási statisztikai grafikon [7]

A közel múlt statisztikai adatait mutatja a 2. ábra.

Mikro gazdasági szinten a családot, azon belül is az egy főre eső rész a mérvadó. Ennek a vizsgálata során a KSH adatait alapul véve kiderül, hogy a fogyasztói árak folyamatos emelkedése mellett az egy főre jutó kiadások éves szinten az energia árak terén ~2,5-szeres növekedést mutatnak a 2000 – 2008 között. Mindeközben sem a minimál bér, sem a havi átlag bér emelkedése nem követi ezt a 2,5-szeres emelkedést

5. ÖSSZEGZÉS

A gazdasági adatok tükrében leszögezhető, hogy a kétrétegű nyílászárók felújításával egyetlen fűtési idény alatt megvalósuló 591 MW energia nyereség már a felújítást követően azonnal realizálható a felújítás költségeinek gazdasági megtérülése. Nemzetgazdasági vonatkozásban pedig a fenti mutatóknak is köszönhetően minden kormányzati ciklusban előtérbe kerül az épületek energetikai felújításának támogatása.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **Dióssy L.** 2008. Energiamegtakarítási lehetőségek a lakossági és kommunális szektorban
- [2] **Energia Klub** számításai (internet)
- [3] www.rec.hu/kioto/tananyag/ch2_web.doc (internet)
- [4] www.ablakprofilok.hu (internet)
- [5] **Fekete Iván:** Épületfizika kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985
- [6] **KSH** statisztikai adatai (internet)
- [7] **BP,** Portfolio.hu

PASSZÍVHÁZAK ÉS NETTÓ ZÉRÓ ÉPÜLETEK AZ ÁTDOLGOZOTT ÉPÜLETENERGETIKAI DIREKTÍVA TÜKRÉBEN

PASSIVE HOUSES AND NET ZERO BUILDINGS IN ASPECT OF THE EPBD RECAST

KOZMÁNÉ SZIRTESI KRISZTINA

műszaki oktató
Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Építésmérnöki Tanszék
kszk@mk.unideb.hu

Kivonat: A fenntartható fejlődés biztosítása az építőipar vonatkozásában is igen fontos. A fenntartható építészet prioritásai közül kiemelkedik az energiahatékonyság fontossága. Uniós szinten ezt szabályozza a 91/2002 EK direktíva, mely célul tűzte ki az épületek energiahatékonyságának növelését és egyúttal a széndioxid-kibocsátás csökkentését. A célokból azonban sajnos kevés valósult meg, így szükségessé vált az irányelv átdolgozása, szigorúbb követelmények felállítása. A direktíva módosításának az Európai Parlament általi elfogadása várhatóan a 2010. májusi ülészakban lesz. Fő eleme, hogy 2020. decembere után már csak „közel zéró energiás” épületeket lehet építeni. A tanulmány körbejárja a tagállamok jelenlegi meghatározásait az alacsony energiafelhasználású épületekre vonatkozóan, valamint az energiahatékony épületek terjedését indukáló folyamatokat.

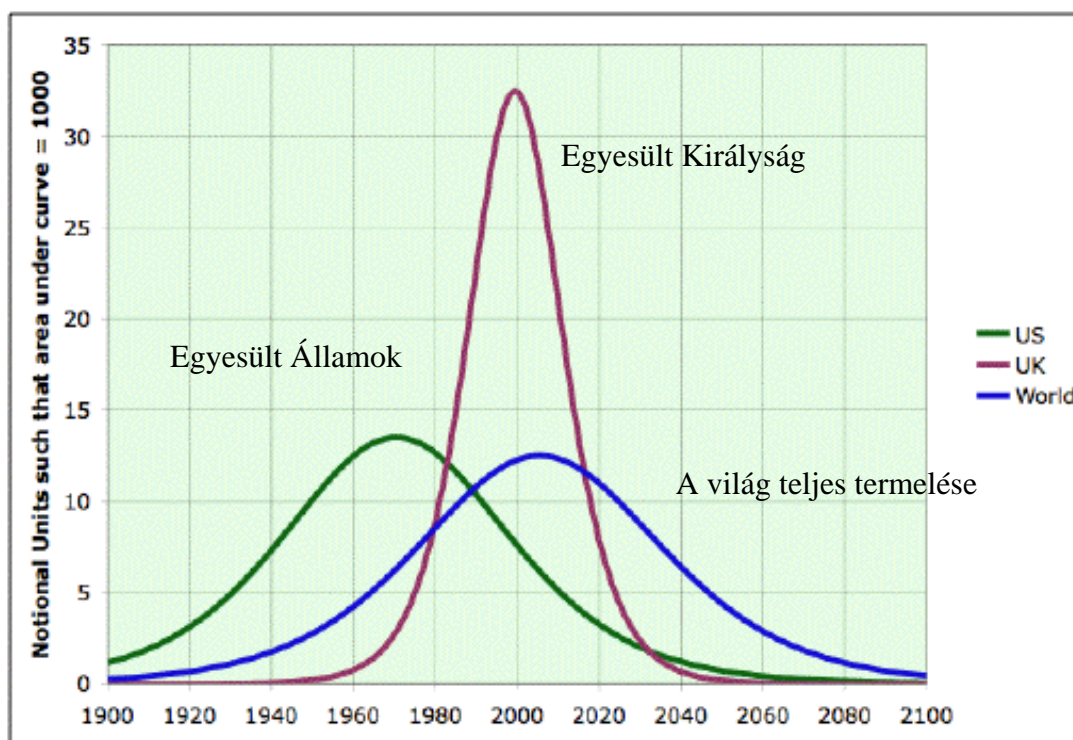
Kulcsszavak: energiahatékonyság, fenntartható építés, épületek energiahatékonyságáról szóló 91/2002 EK irányelv, passzívház

Abstract: The sustainable development is very important a well in terms of the building industry. The energy efficiency has priority over the other factors of sustainable architecture. The existing Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), adopted in 2002, is a key element to improve the energy performance of buildings and to reduce carbon-dioxide emissions. The slight results achieved so far call the redraft of the previous directive. The European Parliament should give it's final endorsement in May session 2010. The major highlight of the EPBD recast is: as of 31 December 2020 new buildings will have to consume 'nearly zero' energy. In this paper the different terms in use to describe low energy buildings used across Europe are presented. The processes inducing the spread of energy efficient buildings are analyzed.

Keywords: energy efficiency, sustainable building, Energy Performance of Building Directive, passive house

1. A FENNTARTHATÓSÁG ÉS AZ ÉPÍTÉS KAPCSOLATA

Napjaink legfontosabb feladata, hogy a fenntartható fejlődést a társadalomban, a gazdaságban és általában az emberi civilizáció minden szintjén biztosítsa. Az 1987-ben az ENSZ Környezet és Fejlődés Világbizottsága által „Közös jövőnk” címmel kiadott jelentés szerint a fenntartható fejlődés olyan fejlődés, amely kielégíti a jelen szükségleteit, anélkül, hogy veszélyeztetné a jövő nemzedékek esélyét arra, hogy ők is kielégíthessék szükségleteiket. A fejlődő világ felzárkózása során egyre nőni fog a társadalom igénye a szükségletek kielégítése iránt, miközben a Föld teljesítőképessége határán egyensúlyozunk. Ennek folyamán egyre több és magasabb energiaigényű épület épül, miközben a fosszilis energiaforrások mennyisége csökken. Az ún. Hubbert-csúcs (a kőolaj ill. a földgáz kitermelés legnagyobb mértéke, ami után a kitermelés szintje egyre alacsonyabb lesz) a világ összes kitermelésére vonatkoztatva a kutatók szerint napjainkra tehető (az Egyesült Államokban már 1970-ben megtörtént). A csökkenő kitermeléssel az árak soha nem látott magasságokba emelkedhetnek - nő a kereslet, mely emeli az árakat, miközben az egyre nehezebben és drágábban kitermelhető fosszilis tüzelőanyagok ára az igényektől függetlenül is nőne.



1. ábra A kőolajkitermelés Hubbert-görbéje az Egyesült Államokra, az Egyesült Királyságra és a teljes világra vonatkoztatva (forrás: [1])

Eközben a teljes energiafogyasztás mintegy 40 %-át fordítjuk épületeink fűtésére, hűtésére, úgy Magyarországon, mint az Európai Közösség államaiban. Ha mindezek mellé még azt a tényt is figyelembe vesszük, hogy a CO₂ kibocsátás 1/3-áért felelős ez a szektor, beláthatjuk, hogy ez az állapot nem fenntartható, és azt is, hogy hatalmas kiaknázatlan potenciál rejlik az épületek energiafelhasználásának csökkentésében.

Az Európai Unió energiapolitikájának fontos eleme a 91/2002 EK Direktíva (Energy Performance of Buildings Directive - EPBD), amely meghatározta az épületek energiafelhasználásának általános, a tagállamok akkori egyéni szabályozásainál szigorúbb kereteit, a konkrét, helyi szabályozásokat a tagállamokra bízva. Magyarország is az irányelv alapján hozta meg a 7/2006. (V. 24.) TNM rendeletet illetve a 176/2008. (VI. 30.) Kormányrendeletet (az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról illetve tanúsításáról). Hazánk rendeletei az utolsó pillanatokban, határidő módosítások kérelmezésével, a tagállamoknál jóval enyhébb követelmények felállításával születtek meg. A direktíva nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket, emellett a klímaváltozásra vonatkozó előrejelzések még a legoptimistább forgatókönyvek esetén is egyre riasztóbbak. Jimmy Carter javaslata az 1977-es első kőolajválság idején - „Vegyétek lejjebb a termosztátot, és húzzatok fel egy pulóvert!” - már régóta nem elég. Az energiahatékonyság jelentős javulása csak számottevő anyagi ráfordítással érhető el, ennek érdekében azonban már szükség van valamiféle kényszerre is.

Maga a fenntartható építészet nem korlátozódik ugyan pusztán a magas energiahatékonyságra, hiszen vizsgálni kell az építőanyagok előállításának, beépítésének majd bontás utáni újrafelhasználásának vagy tárolásának aspektusait, az ivóvíz-felhasználást és a szennyvízkezelést, illetve a környezetet terhelő egyéb hatásokat is, de legfontosabb és egyben legkönnyebben elérhető az energiahatékonyság növelése.

2. AZ ÉPÜLETENERGETIKAI DIREKTÍVA ÁTDOLGOZÁSA

A fenntartható építés megvalósítása érdekében tehát sokkal szigorúbb szabályozásra van szükség, amit azonban az egyes emberek várhatóan nem fognak kitörő örömmel fogadni. Évek óta napirenden van az EPBD átdolgozása, melyhez több hatástanulmány és javaslat is készült. 2008-ban olyan javaslat született, amely 2011-től csupán passzívházak építését engedélyezné. 2009 elején az Európai Parlament Ipari Bizottsága 2018 után kizárólagosan „nettó zero” energiafelhasználású épületek engedélyezésére tett javaslatot. A 2009. november 17-én a tagállamok által végül is elfogadott egyezmény, azaz a direktíva átdolgozásáról szóló javaslat (az ún. „EPBD Recast”) a következő lényeges elemeket tartalmazza [2]:

- 2020. december 31. után minden új épület „majdnem nulla” energiafelhasználású lesz („nearly zero energy building”).
- Mintegy követendő példaként a lakosság elé állítva a középületek 2018. december 31. után már csak e követelménynek megfelelően épülhetnek.
- A direktíva meghatározza a „nagyon alacsony energiafelhasználású épület” fogalmát: „A majdnem nulla energiás épület olyan épületet jelent, mely igen magas energiahatékonyságú. A szükséges csekély energiamennyiséget pedig csaknem egészében megújuló energiaforrásokból kell fedezni, mely helyben vagy közelben megtermelt energiát jelent.”

A direktíva rendelkezni fog a jelentős felújítások esetén elérendő (előzőekkel csaknem azonos) követelményekről, figyelembe véve a költségoptimalizálást is. Bővülni fog a tanúsításra kötelezett középületek köre (a jelenlegi 1000 m² helyett 500 m² felettiekre kell elkészíteni, majd 5 év múlva ez a küszöbérték 250 m²-re csökken). Meg fog történni egy egységes, harmonizált számítási módszer kidolgozása, illetve a büntetések bevezetése is. Mindezek mellett a direktíva megújításának egyik legfontosabb eleme, hogy rendelkezik a támogatási rendszer kialakításáról is. A pénzügyi eszközök az Európai Regionális Fejlesztési Alapból, illetve az ezután létrehozandó Energiahatékonysági Alapból származnának, de része lenne ezekben a tagállamok pénzügyi alapjainak illetve az adócsökkentésekre vonatkozó rendeleteknek is.

A direktíva megújításának várt hatása 2020-ra az Európai Unió energiafogyasztásának 5-6 %-os csökkentése, miközben a CO₂-kibocsátás kb. 5 %-kal mérséklődne. A direktíva átdolgozásának (melynek felelőse Silvia-Adriana Țicău román szociáldemokrata európai parlamenti képviselő, az Ipari, Kutatási és Energiaügyi Bizottság tagja) Európai Parlament által történő elfogadása a 2010. májusi ülészakban várható, Strasbourgban.

Fontos megjegyeznünk, hogy a tervezetek az évek folyamán az eredeti szándékhoz képest folyamatosan „felpuhultak”, az eredetileg tervezett 11 %-os teljes energiafelhasználás-csökkentéshez képest.

3. ALACSONY ENERGIAFELHASZNÁLÁSÚ ÉPÜLETEK DEFINÍCIÓI, TANÚSÍTÁSA

Láthatjuk, hogy a majdnem nulla energiás épület definíciója nem igazán pontosított, a konkrét követelményértékek meghatározása a közeljövőben fog megtörténni, a direktíva átdolgozásának életbe lépése után. Bár több fórumon elhangzott már, hogy 2020-tól csupán passzívház vagy „nettó zero energiás ház” építhető majd, a direktíva tervezete nem ezt tartalmazza. Kérdés azonban, hogy mely épülettípusokkal lehet ezeket a követelményeket kielégíteni. Egy 2009. szeptember 25-én kelt jelentés (Comission’s Info Note on ‘Low-Energy Building’) szerint jelenleg 8 európai tagállam határozta meg a saját definícióját az alacsony energiafelhasználású épületekre (Ausztria, Csehország, Dánia, Egyesült Királyság, Finnország, Franciaország, Németország és Belgium) és néhány további tervezi ezt

(Luxemburg, Románia, Szlovákia, Svédország) [3].

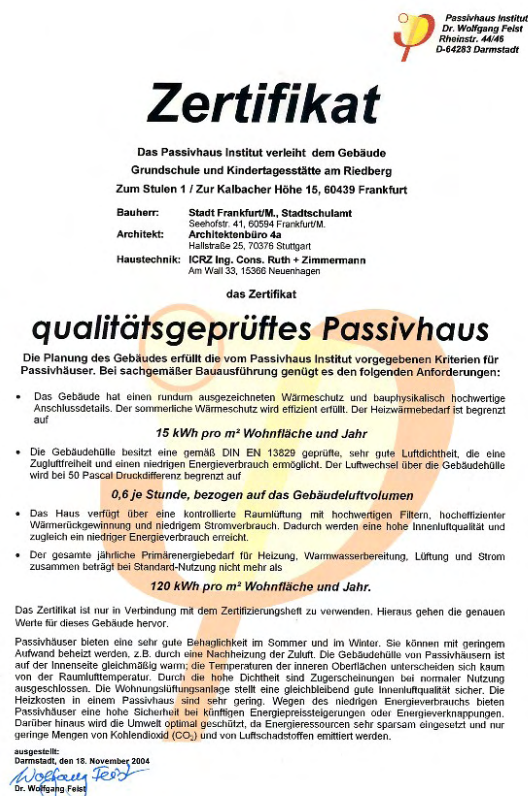
Az energiatausítás mellett sajátos „címkéket” is bevezettek egyes országokban („MINERGIE” és „MINERGIE-P” Svájcban, „EFFINERGIE” Franciaországban, illetve a passzívház-tanúsítvány több országban, melyet a Darmstadtban működő Passivhaus Institut vagy egyéb tanúsító intézet ad ki), hogy a fogyasztókat tájékoztassák a nemzeti standardok alapján épített alacsony energiafelhasználású épületek azonosításában. A tanúsítások egyébként a fenti épületek elemeire (pl. ún. passzívház-komponensek - falszerkezetek, nyílászárók, gépészeti berendezések) is megszerezhetők, illetve újabban lehetőség van rá, hogy szakemberek is megszerezhessék a „minősített passzívház tervező” címet.

Ausztria	<ul style="list-style-type: none"> Alacsony energiafelhasználású épület = az éves fűtési energia fogyasztás 60-40 kWh/m²a (bruttó 30 %-kal nagyobb, mint a standard teljesítmény) Passzívház = a Feist-féle passzívház-szabvány szerint (15 kWh/m²a hasznos alapterületre vonatkoztatva (Stájerország) és fűtött alapterületre vonatkoztatva (Tirol))
Belgium	<ul style="list-style-type: none"> 1-es alacsony energiaosztály lakóházakra vonatkoztatva: 40 %-kal kevesebb, mint a standard érték, iskolákra és irodákra vonatkoztatva: 30 %-kal alacsonyabb Nagyon alacsony energiaosztály: lakóházak esetén 60 %, iskolák és irodák esetén 45 %-os csökkentés
Csehország	<ul style="list-style-type: none"> Alacsony energiaosztály: 51-97 kWh/m²a (fűtési energia) Nagyon alacsony energiaosztály: 51 kWh/m²a alatt, de létezik a passzívház standard is (15 kWh/m²a alatt)
Dánia	<ul style="list-style-type: none"> 1-es alacsony energiaosztály = a számított energiateljesítmény 50 %-kal alacsonyabb, mint az új épületekre vonatkozó minimumkövetelmények 2-es alacsony energiaosztály = a számított energiateljesítmény 25 %-kal alacsonyabb, mint az új épületekre vonatkozó minimumkövetelmények (pl. lakóépületekre: 70+2200/A kWh/m²a ahol A a fűtött bruttó terület, más épületekre pedig 95+2200/A kWh/m²a - beleszámítva az épületbe beépített világítást)
Finnország	<ul style="list-style-type: none"> Alacsony energia szabvány = az éves fűtési energia fogyasztás 40 %-kal jobb, mint a standard épületé
Franciaország	<ul style="list-style-type: none"> Új lakásra: az átlagos évi primer energiaigény a fűtés, hűtés, szellőzés, HMV és világítás figyelembevételével 50 kWh/m²a-nél kevesebb. A klimatikus övezettől függően ez az érték 40-65 között változhat Más épületekre: az átlagos évi primer energiaigény a fűtés, hűtés, szellőzés, HMV és világítás figyelembevételével 50 %-kal alacsonyabb, mint az Építési Rendeletben meghatározott új épületekre vonatkozó követelményérték Felújítás esetén: 80 kWh/m²a 2009-től
Németország	<ul style="list-style-type: none"> Alacsony energiafelhasználású lakóépület = KfW60 (60 kWh/m²a) vagy KfW40 (40 kWh/m²a maximális energiafogyasztás) Passzívház: KfW40 épület 15 kWh/m²a-nél kisebb éves fűtési energia felhasználással és 120 kWh/m²a-nél kisebb teljes fogyasztással
Anglia & Wales	<p>Idővel bevezetendő, minimumkövetelményekhez tartozó igazolások:</p> <ul style="list-style-type: none"> 2010: 3-as szint (25 %-kal jobb, mint az aktuális rendelet) 2013: 4-es szint (44 %-kal jobb, mint az aktuális rendelet, majdnem azonos a passzívház-szabvánnyal) 2016: 5-ös szint (fűtésre és világításra vonatkozó zero széndioxid-kibocsátás) 2016: 6-os szint (zero széndioxid kibocsátás minden háztartási készülékre is)

1. Táblázat Példák az alacsony energiafelhasználású épületek követelményértékeinek meghatározására (forrás: [4])

A komponensek és a szakemberek minősítése egyáltalán nem öncélú dolog, hiszen az alacsony energiafelhasználású épületek gyökeresen más tervezési stratégiát, más épületszerkezeti kialakítást, szerkesztést illetve eltérő gépészetet igényelnek, mint a „szokványos” épületek. Az igen magas energiahatékonyság extrém hőszigetelést igényel,

illetve speciális nyílászárókat. Igen fontos a hőhídmentes kialakítás, mely a csomópontok gondos megtervezésén kívül esetenként a megszokottól eltérő szerkezetek használatát is megköveteli: ilyen pl. a teljes felületén hőszigetelt lemezalap vagy a karcsú fatartók a földemek vagy favázis falak esetén. Lényeges az épületek megfelelő légtömörségének biztosítása az ellenőrizetlen légcserre minimalizálása érdekében, illetve a hőveszteség csökkentése és a belső levegő minőségének biztosítása a hővisszanyerős, teljes friss levegős szellőzőrendszer kiépítésével. A fentiek kielégítése érdekében a gondos, részletekre is odafigyelő tervezés mellett igen magas színvonalú kivitelezésre van szükség.



2. ábra A svájci MINERGIE-tanúsítvány illetve a német passzívház-tanúsítvány képe

4. ENERGIAHATÉKONY ÉPÜLETEK TERJEDÉSÉT ELŐSEGÍTŐ FOLYAMATOK

A fenti követelmények elérése tehát speciális tudást igényel a közreműködők (építészek, statikusok, épületgépészek, kivitelezők, műszaki vezetők és műszaki ellenőrök) részéről, ezért kiemelkedően fontos a képzések fejlesztése, e tudás elsajátítása érdekében. Ez a most tanuló, leendő szakemberek esetén a képzésbe integrálás szükségességét jelenti, de éppolyan fontos a gyakorló szakemberek szakirányú továbbképzése is. Ezek a folyamatok hazánkban is beindultak többé-kevésbé, de még mindig nem általánosak. Egyes intézményekben már beépítették az oktatásba, de többnyire ez sajnos nem jellemző.

A legtöbb tagállam különös gondot fordít az energiahatékony épületek többletköltségeinek finanszírozási lehetőségére. Ez jelenthet adókedvezményeket, mint például Franciaország esetében, ahol az épület mentesül az ingatlanadó kötelezettség alól, amennyiben a vele szemben támasztott 5 környezeti kritérium közül legalább 4-et teljesít. Németországban a bizonyos követelményeket kielégítő épületekre az erre szakosodott bank (KfW - „Újjáépítési

Hitelintézet”) az első évekre vonatkoztatva kamatmentes hitelt ad [3].

A kísérleti projektek ösztönző hatása szintén nem lebecsülendő. Ilyen folyamat volt például Németországban a passzívházak fejlesztése, amely a 80-as évek elején kezdődött, egyre hatékonyabb épületek fejlesztésével, tesztelésével, új megoldások bemutatásával. A leghatékonyabb épületek egy kisebbfajta piacot, keresletet hoztak létre, mely elősegítette a magasabb színvonal elfogadását, általánossá válását, illetve az energiahatékonysági követelmények fokozatos szigorítását a „szokványos” épületek kapcsán is.

A nagy nyilvánosságot kapott és szakmailag is részletesen publikált mintaépületek („best practice”) mind a szakemberek, mind a beruházók számára bizonyítják a kiemelkedően energiahatékony épületek műszaki és gazdasági megvalósíthatóságát. Ilyen példa a svédországi Göteborgban, passzívház minőségben létesült „Hamnhuset” 115 lakásos épülete, LCC (Life Cycle Cost - „életciklus-költség-elemzés”) számítási módszerrel megalapozva a költséghatékonyságot. A tervezés és kivitelezés a résztvevők (vállalkozók, önkormányzati hatóságok és kormányzati szervek) egyedülálló kooperációjával valósult meg [5].

Magyarországon is készült egy mintaépület, a Dunaújvárosban lévő 42 lakásos panelház csaknem passzívház jellegű felújítása, a SOLANOVA projekt, melyben partnerként részt vett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, a Kasseli Egyetem (Németország) és a darmstadti Passivhaus Institut mellett számos egyéb közreműködő is. A mintaprojekt egy széleskörű kutatási folyamat része, amelynek célja annak bizonyítása, hogy az extrém energiahatékonyság épületfelújítások során is megvalósítható, és ez együtt jár a lakások fizikai és erkölcsi értékének növekedésével, a benne lakók komfortérzetének és elégedettségének javulásával mindamellett, hogy a fenntartási költségeket minimalizálja [6].

Természetesen számos egyéb mintaépület készült Európa-szerte. A CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as European Standards – „A költséghatékony passzívház mint európai szabvány”) program, mely 5 európai tagállamban mintegy 250 lakóegység építését és tudományos értékelését foglalja magában, konkrét célokat határoz meg, mint például a műszaki lehetőségek bemutatása alacsony költségek mellett, mind a civil szféra, mind a szakértők számára, de célja a passzívházak átfogó piaci bevezetésének előkészítése is [7].

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A fenntarthatóság elve megköveteli, hogy a jövőben extrém energiahatékonyságú épületeket építsünk, a költséghatékonyságot is figyelembe véve. Az uniós folyamatok ezt elősegíteni látszanak. A szigorodó szabályozás mellett meg fogják teremteni az anyagi támogatások, ösztönzések rendszerét is. Fontos a civil szféra és a közreműködők tudásának fejlesztése, az oktatásba történő integrálás illetve a mintaprojektek által. A folyamat nem lesz egyszerű és gyors, de a széndioxid-kibocsátás csökkentése azzal a hozadékkal is jár, hogy épületeink egészségesebbek, jobb minőségűek és olcsóbban fenntarthatóak lesznek.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] The Oil Drum, <http://www.theoil drum.com/story/2005/12/5/133418/045>
- [2] Proposal for a directive of the European parliament and of the council on the energy performance of buildings (recast), 2009
- [3] Commission’s Info Note on ‘Low-energy Building’ Brussels, 2009
- [4] SBI (Danish Building Institute), European Strategies to move towards very low energy buildings, 2008
- [5] Hamnhuset – the project, <http://www.alvstranden.com/default.aspx?id=462&navId=210>
- [6] SOLANOVA, <http://www.solanova.energia.bme.hu/>
- [7] Cost Efficient Passive Houses as European Standards, <http://www.cephesus.de/eng/>

A FORRÁSOK ÉS A SEGÉDTUDOMÁNYOK SZEREPE AZ ÉPÍTÉSZETI KUTATÁSOKBAN (GONDOLATOK AZ ÉRMELLÉKI PINCEFELMÉRÉSEK KAPCSÁN)

THE ROLE OF THE SOURCES AND THE AUXILIARY SCIENCES IN THE ARCHITECTURAL RESEARCHES (SOME THOUGHTS CONNECTED WITH THE CELLAR-SURVEYING IN THE ÉRMELLÉK-REGION)

KÁNTOR Anita

tanársegéd

Debreceni Egyetem Műszaki Kar Építésztechnológiai Tanszék
kiskantor@hotmail.com

Kivonat: Egy adott terület vagy korszak megismerésében az épületek, építmények fontos szerepet játszanak, hiszen magukon viselik a történelem és a társadalom lenyomatát, változásait. Már önmagukban is sok mindent elárulhatnak a vizsgált korszakról, hiszen sokszor maradandóbbak más dokumentumoknál. Teljes történetüket azonban csak akkor mesélik el, ha együtt vizsgáljuk a különböző történelmi forrásokkal és más tudományterületek eredményeivel. Így az egymással összecsengő részletek tükrében bontakozhat ki egy olyan történet, amit már érdemes továbbadni.

Kulcsszavak: Érmellék, borospincék, építészet

Abstract: The buildings or edifices play an important role in gaining knowledge about a given region or era, because they are wearing the imprints of the changes of history and society. As in several cases they are more enduring than the other documents they can disclose much about the analysed era. However, they can tell their whole history only if analyzed together with the different historical sources and the results of other sciences. In this way, in the light of these interconnected details, can a story evolve that is worthy of transmitting.

Keywords: Érmellék, wine-cellars, architecture

1. BEVEZETÉS

Az építészeti kutatások kiindulópontját valamilyen már meglévő építészeti emlék szolgáltatja általában. Ez kelti fel az érdeklődést, hogy kik, mikor, mire és hogyan használhatták az adott épületeket, építményeket. Vannak kérdések, melyek közvetlenül megválaszolhatók az emlékek elemzésével, szemrevételezésével, kutatásával, azonban a kérdések jelentős részére csak akkor kapunk választ, ha segítségül hívjuk a történelmi forrásokat és más tudományágak eredményeit, melyek rávilágíthatnak olyan összefüggésekre, amelyeket maga az építmény is tükröz - alaprajzi, szerkezeti kialakításában, méreteiben, stb. -, de eddig homály fedte jelentésüket, s feltárhatnak olyan körülményeket, tényeket - építés, keletkezés ideje, tulajdonosok, stb. -, amelyek nem olvashatók le magáról az épületről, azonban nélkülözhetetlenek a teljes kép feltáráshoz.

Ilyen kiindulópontot jelentett az a nyári gyakorlat az Érmelléken, melynek következtében közel 200 pince került felmérésre. Ehhez kapcsolódva szeretnék bemutatni néhány eredményt - korántsem a teljesség igényével -, amely jól tükrözi a források és segédtudományok szerepét az építészeti kutatásokban.

2. A FORRÁSOK CSOPORTJAI ÉS JELENTŐSÉGÜK

A történeti forrásokat több csoportba sorolhatjuk:

- *tárgyi emlékek* (épületek, munkaeszközök, berendezési tárgyak, stb.)
- *írott források*, melyek lehetnek elbeszélő leírások (krónikák, életrajzok, naplók, stb.), valamint a közigazgatási, igazságszolgáltatási, gazdasági, egyházi, katonai vagy egyéb szervezetek működése során létrejött iratok (urbáriumok, tizedjegyzékek, oklevelek, jegyzőkönyvek, törvények, rendeletek, térképek, stb.).
- *ábrázolások* (rajzok, fotók, felmérések, festmények)
- *íratlan szellemi hagyományok* (szokások, mondák, hagyományok, stb. írásban vagy hanganyagként rögzített változatai)

2.1. Tárgyi emlékek

Az építészeti kutatások legfontosabb tárgyi emléke maga az épület. Ez már önmagában sok információt hordoz a hozzáértők számára. Végigjárva az épületeket többnyire megállapítható, hogy milyen anyagból és szerkezetekkel épültek. Ezen tudás birtokában már elemzések végezhetők, hogy találhatók-e egyedi jellegzetességek az adott táj vonatkozásában más tájegységekhez viszonyítva, illetve mely más területekkel mutathatók ki azonosságok. A pincék esetében nincs nagy szerkezeti változatosság a föld alatti ágak kialakításában, viszont a pinceelők és préházak tekintetében már nagyobb formagazdagsággal találkozhatunk az Érmelléken. A legkezdetleesebb típust a pincék elé épített, kis félnyereggtetővel ellátott nyitott előtér képviseli, melynek oldalát karók közé fűzött vesszőfonással – Nagykágya - vagy fa gerenda váz közé vert földfallal, illetve mögé helyezett deszkákkal erősítették meg (Hegyközszentmiklós). Ennek zárt formáját, a bárdolt fa szerkezettel készült pinceelőket találhatjuk Értarcsán, finoman megmunkált változatait pedig Szalacson. A „legfejlettebb” változatot a téglahomlokzatok képviselik. (Székelyhíd, Kiskereki, Aszonyvására, stb.)



1. ábra. Szalacs – A Nagyburga pincéi az átépítés előtt, 43. pince



2. ábra. Szalacs – A Nagyburga pincésora a XX. századi átépítés után

Az építéstörténet kuriózumai a különböző építési periódusok, amik a társadalmi-kulturális változásokról mesélhetnek. A szalacsi Nagyburga pincésora meglepően egységes homlokzati megjelenésével közel azonos időszakban készült beépítésre utal. [2. ábra] Csupán egyetlen, a sort megszakító pincehomlokzattal találkoztunk. [1. ábra] A gazdákkal folytatott beszélgetés közben derült ki, hogy szüleik, nagyszüleik elbeszéléséből emlékeznek a XX. század elején történt átépítésre. Ennek megerősítésére a meglévő pincehomlokzaton kívül még nem találtunk sem fotókat, sem más írásos emléket, de ez a jelenség a szőlőültetvények

szaporodására és a borkereskedelem fellendülésére utalhat, ami a filoxéra vész utáni időkben általános jelenség volt a területen.

2.2. Írott források

Az írott források elsődleges jelentősége azokon a területeken jelentkezik, amely korszakok az idő elteltével már nem kutathatók közvetlenül. Így a szőlővel beültetett területek kialakulásáról, meglétéről vagy hiányáról is értesülhetünk a levél- és irattári anyagok segítségével. Másodlagos jelentőségük abban áll, hogy a szóbeli emlékek kiegészítésének és ellenőrzésének lehetőségei lehetnek. (lásd a tárgyi emlékeknél említett átépítést)

A felmérés során újabb problémával találtuk szembe magunkat, amikor területileg megpróbáltuk beazonosítani az Érmelléket. Mint bortermő vidék, régen ismeretes az Érmellék elnevezés, de igazából senki sem ismeri ennek a térképre vetíthető tartalmát. Ebből ered, hogy a vizsgálódás tárgya szerint jelentősen különbözhetnek a lefedett területek – Szilágyi Ferenc nyolcat különböztet meg -, s még ugyanazon témakörben is nagy eltérések lehetnek a földrajzi területet illetően. Ennek következtében az Érmelléki borvidéknek is számos változata létezik: más településeket sorol fel Bél Mátyás, Varga Gyula, Jakó Zsigmond és Rácz István. [4] Az Érmelléki borvidék építészeti emlékeinek tanulmányozásakor Varga Gyula leírását követtük, mintegy 51 települést beleértve.

Az írott források között kell megemlítenünk a térképeket, amelyek hasznos segítséget jelentenek a kutatás folyamán. Ezek között kiemelt jelentősséggel bírnak a kéziratos térképek, mivel egy részük keletkezését tekintve korban megelőzi a II. József kori felmérést és jóval részletesebb is. A térkép egy bizonyos időpontban rögzíti azokat a fizikai (földrajzi), sőt sok esetben társadalmi és kulturális körülményeket is, amelyek között egy bizonyos társadalmi kultúra él. Nehézséget jelent az értelmezésükben, hogy sokszor nem lehet tudni keletkezésük körülményeit (ki rendelte és milyen céllal, tartozott-e hozzá szöveges leírás), valamint az, hogy gyakran csak egy-egy példány kerül elő az irattárak mélyéről. A legértékesebbek azok az évszámmal ellátott térképek, amelyek egy-egy terület, település állapotát egymás utáni időszakokban rögzítették, hiszen önmagában egyetlen térkép sem világít rá a társadalomban lejárló változásokra, viszont az egymás mellé állított, de különböző időből származó térképek már fejlődéstörténeti forrásértékkel bírnak. A kartográfiaiilag ábrázolt jelenségek meglétéből vagy hiányából, módosulásából, elterjedésének területéből, idejéből és egyéb körülményeiből értékes következtetéseket lehet levonni a népi kultúra differenciálódottságára, a népi társadalom tagozódására, valamint épületek, területek meglétére, illetve hiányára. Esetünkben a vértesi Mosonta kert meglétének idejéről kaphatunk értékes adatokat a térképek segítségével [3-4. ábra]: az 1838-as térkép már ábrázolja a Mosonta rétet és a mellette található szőlőskertet. (Egy harmadik térképen, melynek keletkezési időpontja nincs feltüntetve, s amely a terület alföldersősítési tervét tartalmazza, már a Mosonta kert felirat olvasható az azonos kontúrral rendelkező területen.) Az 1837-es térkép szintén ábrázolja a Mosonta rétet, de a szőlőskertek helyén – egy jóval nagyobb területre – a „régí legelőből fel-fogott rész” felirat található. Ez nem jelenti azt, hogy a felfogott rész ne lehetett volna szőlő, bár a térképek általában jelzik ezt. A XVIII. század 40-es éveiben már létező Mosonta kert átalakulása hegyközséggé több kerttel együtt csak 1897-ben következik be [2], ami a XIX. század második felében már jelentős szervezett kertségi szőlőművelés folytatását erősíti meg. [5]

A korai térképek a terület korábbi földrajzi arculatához, gyakran történetéhez is nagy segítséget adnak. A kéziratos térképek pontosan ábrázolják a vízfolyásokat, árterületeket. Mivel a közlekedés és vele kapcsolatban a kereskedelem nagymértékben függ a táj felszíni adottságaitól - ellentétes, egymást kiegészítő tájak találkozása, peremvidékek, vásárhelyek

kialakulása, termékcseré, vízi- és szárazföldi utak, szorosok, hágók, őrhelyek, vámhelyek, stb. -, a domborzat jelentős befolyással van a településszerkezet kialakulására, s azon belül a pincék elhelyezkedésére is.

A kéziratos térképek nagyon fontos, építészeti felhasználható adatcsoportját a helynevek alkotják. Ezek alapján lehet azonosítani az iratokban (hegyközségi törvények, statútumok, stb.) feltüntetett szőlőhegyek elhelyezkedését a településhez viszonyítva. Pl. az 1878-ban íródott Székelyhíd Község Hegyi Statútumában megjelölt Nagy Vecser, Kis Vecser, Nagyhegy és Újhegy beazonosítható egy 1860-as térkép-ábrázoláson. [BmT 121] Van térkép, amely még a szőlőben levő szüretelőhelyet is jelzi, de a legtöbb szőlőhegyi térkép ábrázolja a szőlőbéli építményeket is. Ennek függvényében láthatjuk, hogy a legtöbb esetben a pincék nem a szőlőhegy területén találhatók az érmelléki falvakban, hanem vagy a szőlőhegy és a település között a faluból kivezető út mentén, vagy a település belterületén pinceutcákat alkotva. A pincék elhelyezésénél minden esetben a domborzati viszonyok játszották a döntő szerepet, sokszor nem ügyelve még a pince tájolására sem. Tehát a pince sokkal inkább a belső telek tartozékának számított, s ritkán fordul elő, hogy a pince valakinek a szőlőbirtokán helyezkedjen el. [7] Így a pince csak a bor tárolására szolgált, s csak a szőlő feldolgozása után szállították a hordókat a pincékhez.



3. ábra. Vértesszőlős térképe 1837-ben.
Az úrbéres földek fekvése. BmT 56



4. ábra. Vértesszőlős térképe 1838-ban
„Az úrbéres állományok új rendbeszedéséről”.
BmT 69

Gyakran a forrásokon keresztül kedvezőtlen változások is végigkövethetők. Ilyen volt a XIX. század végén lezajlott sikertelen küzdelem a filoxéra vész ellen. Bihar vármegyében a filoxéra először Beél községben kezdődött el és gyakorlatilag alig több mint tíz év alatt kipusztította a régi ültetvényeket [1. táblázat], gyökeresen átalakítva ezzel a szőlő- és borkultúrát. Ez a folyamat nem egyedüli jelenség a magyarországi történelmi borvidékek vonatkozásában, hiszen a filoxéra vész Franciaországból elindulva végigvonult egész Közép-Európán, s lecsengésével új fajták elterjedését, a szőlőtermelés és borkészítés minőségi változását vonta maga után, valamint a történelmi borvidék korszakának a végét jelentette.

2.3. *Ábrázolások*

Az ábrázolások elsősorban a dokumentálásban játszanak nagy szerepet a pillanatnyi állapotok megjelenítésével. Pincefelméréseink két okból is jelentősek lehetnek: az egyik, hogy pontos méretekkkel megadják a pincék nagyságát és alaprajzi kialakításukat, ezzel alátámasztva vagy megdöntve a korábbi elgondolásokat, a másik, hogy ezek a pincék sehol nincsenek nyilvántartva, még csak helyrajzi számmal sem rendelkeznek. A felmérésekből készített helyszínrajzok alapján nemcsak az egy pincesoron belüli egymáshoz viszonyított helyzetük olvasható le, hanem a településhálózatban elfoglalt helyük is.

A felmérés során néhány pincénél kisebb oldalbővülettel, illetve a pincék végében lefalazásokkal találkoztunk. Mindkét esetben a beszolgáltatások miatt kialakult rejtékhelyről volt szó.

Székelyhídon a szőlőhegyek tövében épített pincék esetében a pince előtt lakásra alkalmas prэшázakat mértünk fel. A levéltári anyagokból kiderül, hogy nem minden szőlőhegyen tiltották a kint lakást, de azt az illető község előljáróságának engedélyéhez kötötték, pontosan a székelyhídi hegyi tanács kérelmére. [2] Másutt tiltották ugyan az egész éves kint lakást, de olyan kevés bírságot kellett fizetni, hogy a szőlőmunkák idejére sokszor egész családok kiköltöztek a szőlőhegyre.

2.4. *Íratlan szellemi hagyományok*

Az építészeti kutatások során gyakran más területek is kapcsolódnak a vizsgált témakörhöz – történelmi, társadalmi háttér, szokások. A pincék kutatásánál ilyenek a szőlőműveléssel kapcsolatos teendők és szokások. Ebből egyet emelnék ki, amely közvetlenül nincs ugyan hatással az építészetre, de a területre jellemző sajátosság – a szüret megkezdése. Az időpontja általában október második felére esett az Érmelléken. Ennek egységes időpontja még a feudalizmusra vezethető vissza, ami a dézsmaszedés miatt vált fontossá, hogy ne lehessen korábban szüretelni és letagadni a termés egy részét. Később a körbekerített szőlőhegyek esetében a rend fenntartása miatt maradt továbbra is érvényben. Az Érmelléken két szüreti időpontot jelöltek meg [1. táblázat]: az első volt a kis szüret, később a bírák vagy az előljárók szüretjének nevezték, s két-három nappal később következett a nagy szüret, más néven általános vagy közönséges szüret. [7] Arad-Hegyalján ezzel szemben a nagybirtokosok esetében nem ritka, hogy a szüret megkezdésének kijelölt időpontjától eltérően akár két héttel később is kezdhetik a szüretet, hogy nemesebb, zamatosabb bort kapjanak. [1]

3. A SEGÉDTUDOMÁNYOK SZEREPE

A pincék nagyságát vizsgálva a szélességüket véve alapul – keskenyebb picékhez általában kisebb hosszúság tartozott, kevés kivételtől eltekintve -, Szalacson egy – 2,00-2,50 m -, míg Székelyhídon két domináns csoportot különíthettünk el: a 2,00-2,50 m-ig terjedőket, valamint a 3,50 m-nél szélesebb pincéket. Erre magyarázatot a történettudomány segítségével kaphatunk, amely egyrészt Székelyhíd mezővárosi rangjával, másrészt földrajzi elhelyezkedésével függ össze. A Nagylétáról induló két fontos megyei főútvonal közül az egyik a Nagyléta-Székelyhíd-Széplak tengelyen haladt. Ezeken az útvonalakon állandó postajárat működött, valamint itt bonyolódott a kereskedelmi forgalom nagy része is, ami kedvező helyzetet teremtett a város és a közeli helységek számára. Így a kedvező természetföldrajzi adottságok jó közlekedésföldrajzi helyzettel párosultak, melynek következtében jobban vonzották a nemességet. [6] A leggyakoribb szőlőbirtok az Érmelléken

az 1-2 holdas volt, de Székelyhídon találjuk néhány földbirtokos allodiális szőlőbirtokát. Ezek a nagyobb területek adnak magyarázatot a nagyobb pincék megjelenésére.

A pincék építési idejének a meghatározásában a régészet lehet a segítségünkre, a boltozott pincék esetében a téglák relatív és abszolút kormeghatározásával valamint a faanyag dendrokronológiai vizsgálatával.

Település neve	1874. évi szüret		1880. évi szüret		1892. évi szüret	
	bírák	általános	bírák	általános	bírák	általános
<i>B.-ujfalu</i>	-	-	-	-		nincs
<i>Beél</i>	-	-		nincs		nincs
<i>Belényes</i>		október 18.		október 15.		október 14.
<i>Berettyóújfalu</i>	-	-	-	-		nincs
<i>Bihar Torda</i>	-	-	-	-		nincs
<i>Diószeg</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Élesd</i>	október 18.	október 21.		október 18.		október 10.
<i>Érmihályfalva</i>		-	-	-		nincs
<i>Érsemjén</i>	okt. 18-19.	október 21.	okt. 15-16.	okt. 18-19.	-	-
<i>Gáborján</i>	-	-		október 6.	-	-
<i>Magyar Cséke</i>	-	-	-	-		október 3.
<i>Margitta</i>	-	-		okt. 18-19.		nincs
<i>Mező Keresztes</i>	-	-	-	-		nincs
<i>Mezőtelegd</i>		október 20.	-	-	-	-
<i>Micske</i>		október 21.		október 18.	-	-
<i>Nagykágya</i>	-	-	okt. 15-16.	október 20.	-	-
<i>Nagy-Várad</i>	-	-	-	-	okt. 7-8.	október 10.
<i>N. Szalonta</i>	-	-	-	-		nincs
<i>Szalárd</i>		október 18.	okt. 8-9.	október 11.		nincs
<i>Székelyhíd</i>	okt. 18-19.	október 21.	okt. 22-23.	okt. 25-26.		nincs
<i>Szőllős</i>	-	-		október 14.	-	-

1. Táblázat A szüret kezdési időpontjára vonatkozó visszajelzések és a szőlőállomány pusztulása a filoxéra vész miatt

4. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **EGYED, Á.**, A filoxéravész és következményei Arad-Hegyalján. In.: Szőlőtermelés és borkereskedelem. Szerk.: Orosz István és Papp Klára. Speculum Historiae Debreceniense 2. (A Debreceni Egyetem Történelmi Intézete Kiadványai), Debrecen, 2009. p. 317-325.
- [2] **HAJDÚ BIHAR MEGYEI LEVÉLTÁR** IV.B. 406/b. 30-31. doboz
- [3] **HAJDÚ BIHAR MEGYEI LEVÉLTÁR** kéziratos térképei
- [4] **PAPP, K.**, Az érmelléki szőlőművelés és szőlőbirtoklás a 18. században. In.: Szőlőtermelés és borkereskedelem. Szerk.: Orosz István és Papp Klára. Speculum Historiae Debreceniense 2. (A Debreceni Egyetem Történelmi Intézete Kiadványai), Debrecen, 2009. p. 147-174.
- [5] **PATAKY, E.**, Az Öregkert dűlőiben. (A létavértesi Mosontakert népi építésze és műemlékvédelme), Piremon Nyomda, Létavértes, 2000. pp. 36.
- [6] **PETRÓ, L.**, Az érmelléki nemesség vagyoni tagozódása. In: Hajdú-Bihar Megyei Levéltár Évkönyve XXXI. Debrecen, 2009. p. 143-164.
- [7] **VARGA, GY.**, Az érmelléki szőlőkultúra, Bihari Dolgozatok a Bihari Múzeum Közleményei 3., Berettyóújfalu, 1976, pp. 101.

AZ EMBER MUNKAKÖRNYEZETI HALLÁSVESZTÉSÉNEK FEJLŐDÉSE AUDIOMETRIAI MÉRÉSEK FELHASZNÁLÁSÁVAL

DEVELOPMENT OF HEARING LOSS OF HUMAN IN WORKING ENVIRONMENT USING AUDIOMETRICAL MEASUREMENTS

Jana Annová* - Darina Badidová** - Vojtech Anna***

*Kassai Műszaki Egyetem, Környezetvédelmi Tanszék, Park Komenského 5, 040 11 Košice,
levelező PhD. – stud., janaannova@azet.sk

**Kassai Műszaki Egyetem, Környezetvédelmi Tanszék, Park Komenského 5, 040 11 Košice,
levelező PhD. – stud., darina.badidova@tuke.sk

***Kassai Műszaki Egyetem, Környezetvédelmi Tanszék, Park Komenského 5, 040 11 Košice,
egyetemi docens, vojtech.anna@tuke.sk

Kivonat: Az aktuális munkakörnyezeti kockázatok között feltétlenül szükséges a zajjal is, mint a legelterjedtebb munkahelyi rizikóval számolnunk. A zaj jelentős higiéniai tényező, amely az emberi egészségre, de főleg a hallószervre hat. A zaj okozta halláskárosodás nehezen gyógyítható, ezért a dolgozók eredményes védelme a következetes műszaki és orvosi megelőzésen alapszik. A technikai megelőzés többek között az audiometriai mérések alkalmazását és a teljes hallásvesztés megállapítását jelenti, amely alapján a hallószerv romlását illetően óvintézkedéseket tehetünk. Orvosi kivizsgálásokkal egybekötött kutatómunkával kívánjuk dokumentálni a zajos munkakörnyezetben dolgozók hallásvesztésének kialakulási folyamatát, valamint előrejelezni a hallásvesztés dinamikus fejlődését az audiometriai mérések eredményeinek alkalmas grafikonok és egyenletek formájában való értékelésével.

Kulcsszavak: zaj, munkakörnyezet, audiometriai mérés, hallásvesztés

Abstract: Between actual risks working environment is necessary account also noise, which belongs between the most spread working risks. The noise become important hygienic factors which influence to human health, mainly to auditory apparatus. Damage of hearing from noise is difficulty to treat, that why successful protection of workers consist of consequent technical and medical prevention/ check. Technical prevention consist also in utilisation audiometric measurement and determination of total hearing loss, on the base it is possible to receive arrangements against worsening auditory apparatus. By the research through medical check we want to document how to grow the hearing loss from staying of workers in noise environment. Using these research we can predict dynamic of progress of hearing loss on the base of audiometric measurements and their evaluation through the suitable diagrams and formulas.

Keywords: Noise, working environment, audiometric measurement, loss of hearing

1. A VIZSGÁLAT TÁRGYÁNAK SPECIFIKÁCIÓJA

A nagyobb zajártalomnak kitett alkalmazottak egészségvédelmi intézkedéseinek részét az egészségügyi felügyelet képezi. A munkaadó kötelessége azon alkalmazottak részére, akik esetében a zajszint túlhaladja a felső hatóértéket, biztosítani a belépő, rendszeres és kilépő orvosi kivizsgálást.

Minden egyes kivizsgálás tartalmazza az audiometriai mérésekkel kombinált otoszkópiai vizsgálatot belefoglalva a légvezetési hallásküszöb audiometriáját is.

2. A HALLÁSVESZTÉS KIFEJLŐDÉSÉNEK ÉRTÉKELÉSE VÉLETLENSZERŰEN KIVÁLASZTOTT DOLGOZÓ ESETÉBEN

Az 55 éves dolgozó esetében a légvezetési és csontvezetési hallásküszöb audiometriai méréseinek eredménye az 1.számú táblázatban vannak feldolgozva.

Frekvencia (Hz)	250	500	1000	2000	4000	6000	Hallás-vesztés (%)	Összhallás-vesztés (%)
VV (dB)-LŰ-2009	20	15	15	20	40	55	9,3	9,9
KV (dB)-LŰ-2009	20	15	15	20	40			
VV (dB)-PU-2009	20	15	20	15	50	45	11,9	
KV (dB)-PU-2009	20	15	20	15	45			
VV (dB)-LŰ-2008	20	20	25	25	40	55	14,6	9,8
KV (dB)-LŰ-2008	20	20	25	25	40			
VV (dB)-PU-2008	25	15	20	20	30	40	8,2	
KV (dB)-PU-2008	15	15	20	20	30			
VV (dB)-LŰ-2007	15	15	15	20	40	60	9,3	8,5
KV (dB)-LŰ-2007	15	10	10	15	35			
VV (dB)-PU-2007	20	15	20	20	30	35	8,2	
KV (dB)-PU-2007	20	10	15	15	25			
VV (dB)-LŰ-2005		10	10	15	40	40	6,8	6,3
KV (dB)-LŰ-2005		10	10	15	35			
VV (dB)-PU-2005		10	15	15	35	25	6,2	
KV (dB)-PU-2005		10	15	15	30			
VV (dB)-LŰ-2003		10	10	25	30	45	8,1	6,3
KV (dB)-LŰ-2003		10	10	25	30			
VV (dB)-PU-2003		10	15	20	25	30	5,7	
KV (dB)-PU-2003		10	15	20	20			
VV (dB)-LŰ-2001		20	15	15	30	30	6,0	2,9
KV (dB)-LŰ-2001		10	15	10	25			
VV (dB)-PU-2001		10	10	10	20	30	1,8	
KV (dB)-PU-2001		10	10	10	20			

1. Táblázat Audiogramból kapott lement értékek (dB) és a számított hallásvesztés (%) a vizsgált személy orvosi ellenőrzései alapján (2001-2009)
VV-légvezetés, KV-csontvezetés, LO-bal fül, PU-jobb fül

2.1 Összesített hallásvesztés számítása a vizsgált személy esetében

Nagyothallás mértéke – százalékban kiszámított hallásvesztés Fowler egyenlete szerint:

$$F = L + \frac{H - L}{4} [\%] \quad (1)$$

ahol:

- F – összesített hallásvesztés (%);
- L – jobbik fül hallásvesztése Fowler szerint az audiogram adatai alapján;
- H – rosszabb fül hallásvesztése Fowler szerint az audiogram adatai alapján.

Hallásvesztés százalékos számításának alapját a légvezetés küszöbértékei adják tiszta tónusnál. A csontvezetés küszöbe ennél a számításnál nincs figyelembe véve.

Először kiszámítjuk mindkét fül részére külön-külön a hallásvesztést, majd a két értékből az összvesztéseget. A számítás a 4 alapfrekvencia, azaz 500, 1000, 2000 és 4000 Hz küszöbértékeiből történik.

Az audiodiagram mért eredményei az 1. számú táblázatban vannak bejegyezve, külön a bal (LU) és külön a jobb fül (PU) részére. Csak a légvezetés mérései vannak számításba véve (VV).

Eredmények: jobb fül: 11,9%, bal fül: 9,3%

Összesített hallásvesztést F (%) az (1) egyenletből számítjuk

$$F = L + \frac{H - L}{4} \% = 9,3 + \frac{11,9 - 9,3}{4} = 9,96 \% \quad (2)$$

A vizsgált személy orvosi kivizsgálások során lemért eredményeiből Fowler szerint számított összesített hallásvesztése (%) az Excel program alkalmazásával az 1. táblázatban és a grafikonokban (1., 2., 3. ábra) van feldolgozva.

Az 1. ábra grafikonja a vizsgált személy bal fülének hallásvesztését (%) ábrázolja a 2001-2009-es években végzett orvosi kivizsgálások alapján. A grafikonon azok a (3), (4) egyenletek szerepelnek, amelyekből meghatározhatók a bal fül hallásvesztésének dinamikus fejlődése az elkövetkező években és így alkalmas intézkedések tehetők a vizsgált személy egészségi állapota javítása érdekében. Az egyenletek az Excel programban kiválasztott statisztikai eredmények trendjéből és a regressziójából következnek. Az egyenletek a következők:

$$y = 0,6811x + 1356,8 \quad (3)$$

$$R^2 = 0,477 \quad (4)$$

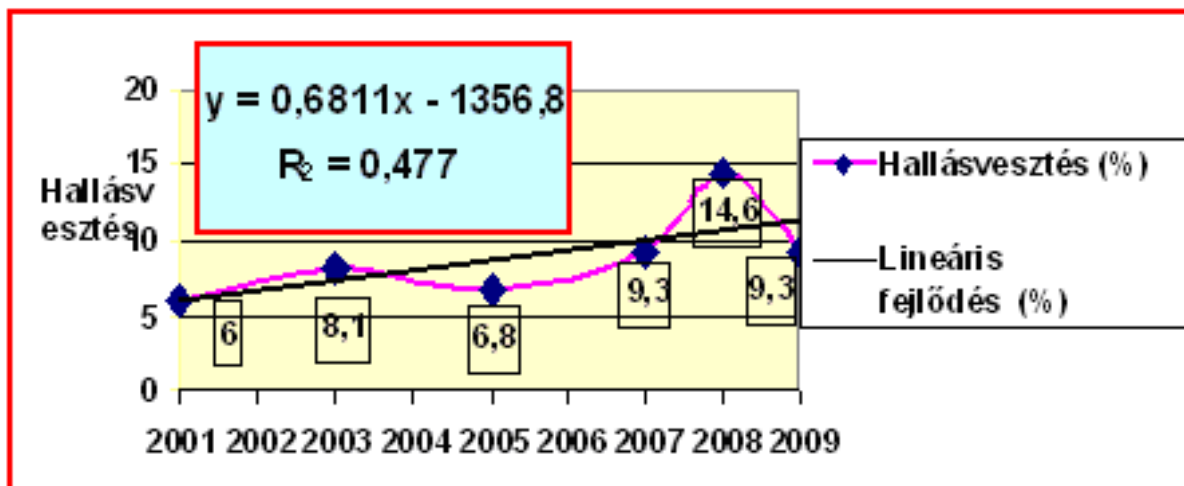
ahol:

- y – az értékelt személy összhallásvesztése
- x – az az év, amelyben meg akarjuk tudni az összhallásvesztést zajos munkahelyen.
- R^2 – korelációs tényező

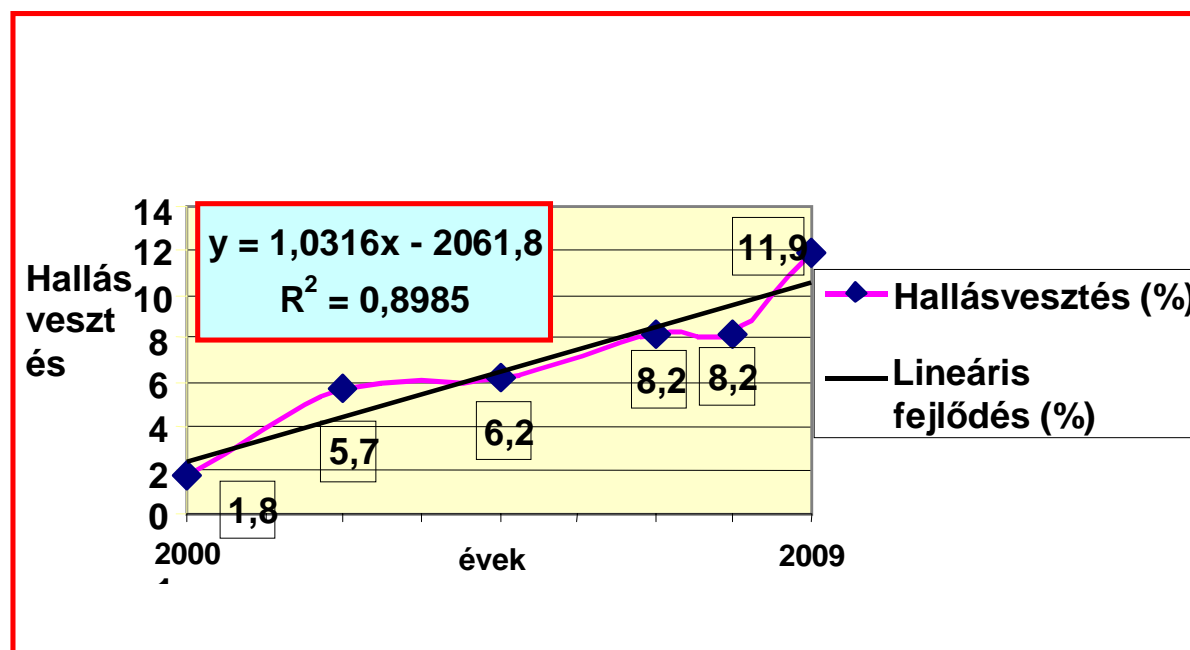
A 2. ábra grafikonja a vizsgált személy jobb fülének hallásvesztését (%) ábrázolja a 2001-2009-es években. Az egyenletek a következők:

$$y = 1,0316x + 2061,8 \quad (5)$$

$$R^2 = 0,8985 \quad (6)$$



1. ábra A vizsgált személy bal fülének hallásvesztése (%) a 2001-2009-es években

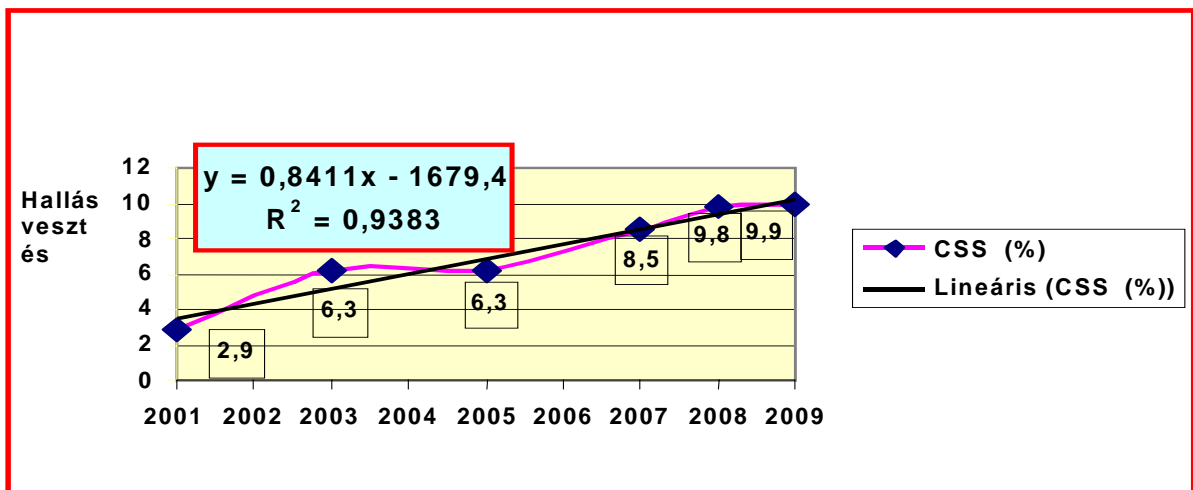


2. ábra A vizsgált személy jobb fülének hallásvesztése (%) a 2001-2009-es években

A 3. ábra grafikonja a vizsgált személy összhallásvesztését (%) ábrázolja a 2001-2009-es években. Az egyenletek a következők:

$$y = 0,8411x + 1679,4 \quad (7)$$

$$R^2 = 0,9383 \quad (8)$$



3. ábra A vizsgált személy összhallásvesztése (%) - CSS

2.2. Példa az egyenlet alkalmazására

Például meg akarjuk állapítani az értékelt személy esetében milyen lesz 2012-ben az összhallásvesztése.. Az egyenletbe az x helyébe behelyettesítjük a 2012-es évet és kiszámítjuk az y-t

$$y = 0,8411x + 1679,4 = 0,8411 \cdot 2012 + 1679,4 = 12,8\% \quad (9)$$

ahol:

y megadja az értékelt személy összhallásvesztését 2012-ben

x jelenti azt az évet (esetünkben 2012), amelyben meg akarjuk tudni az összhallásvesztést zajos munkahelyen..

3. A DINAMIKUS HALLÁSVESZTÉS ZÁRÓÉRTÉKELÉSE

A vizsgált dolgozó esetében 2009-ben az utolsó orvosi ellenőrzéskor a halláskárosodás fejlődése még elviselhető volt, mivel 2001-től 2009-ig a hallásvesztés dinamikája évenként 0,77% volt, 2012-ben viszont eléri az évenkénti 1,1%-ot, amely túllépve az 1%-ot már kedvezőtlen fejlődés, ezért a megfigyelt dolgozónak fokozott orvosi ellenőrzés alatt kell lennie, vagy esetleg zajmentes munkahelyre kell áthelyezni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ANNOVÁ, J.: Výskum hodnotenia sluchu pracovníkov pôsobiacich v hlučnom pracovnom prostredí cez audiometrické merania, študentská konferencia, Ekológia a enviromentalitsika-VII. Ročník , Fakulta ekológie a environmentalistiky TU Zvolen, 2010, Zvolen , 2010, s.7
- [2] [2] BADIDA, M., ANNOVÁ, J., LUMITZER, E.: Evaluation of hearing loss of human in working condition using audiometrical measurements, Anals of Faculty Enginering Hunedoara, Fascicule 2, 2010 HUNEDOARA, RO, ISSN 1584 - 2665, p.8
- [3] BADIDA, M., ANNOVÁ, J., LUMITZER, E.: Conclusions from the investigation aimed at the human hearing imparirment via audiometric measurements.Acta Polytechnica Hungarica,

- Hungarian Academy of Engineering Budapest , No .1, ISSN 1785 -8860, p.9 (2010)– Indexed by thomson Reuters Information
- [4] BREZA, M.: Sledovanie sluchu pri preventívnych prehliadkach u zamestnancov, ORL Ambulancia Hlohovec, 2007, Dostupné na internete <http://www.sso.sk/oto/108/Breza.ppt>
 - [5] Centrum protihlukové ekologie: Akustika a vibrace: Fysiologická akustika. [cit. 2009-03-29] Dostupné na internete:<<http://www.cmail.cz/cpe/clanky/fysiolog/fysiolog.htm>>.
 - [6] ELIAŠOVÁ, Zuzana - HENRICZYOVÁ, Terézia: Implementácia znalostí v návrhovom procese. In: ARTEP 2009 , Zborník príspevkov, 4.3. - 6.3.2009, Stará Lesná, SR. Košice : TU, 2009. s. 10-1-10-4. ISBN 978-80-553-0146-4.
 - [7] ELIAŠOVÁ, Zuzana - HENRICZYOVÁ, Terézia - ELIAŠ, Jozef: Možnosti spracovania informácií v grafickom softwéri. In: ARTEP 2009 , Zborník príspevkov, 4.3. - 6.3.2009, Stará Lesná, SR. Košice : TU, 2009. s. 11-1-11-5. ISBN 978-80-553-0146-4.
 - [8] MICHALKO,T.: Vplyv hluku na fyziológiu človeka, vydavateľstvo Prémia, Praha 2001, 70-8595-47
 - [9] Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 555/2006 Z.z. z 15. októbra 2006 ktorým sa mení a dopĺňa nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 115/2006 Z.z. o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou hluku.
 - [10] Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2003/10/ES zo 6. februára 2003 o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách, pokiaľ ide o vystavenie pracovníkov rizikám vyplývajúcim z fyzikálnych faktorov (hluk) (Ú. v. EÚ L 42, 15. 2. 2003) – čl. 11 ods. 1 až 3, čl. 16 ods. 1, čl. 17 ods. 3.
 - [11] Základy fyziologickej akustiky, audiometrie. [cit. 2009-03-27] Dostupné na internete: <<http://ulb.upol.cz/praktikum/audnav.pdf>>.
 - [12] Zákon 140/2008 z 1. apríla 2008, ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 124/2006 Z. z. o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení zákona č. 309/2007 Z. z. a o zmene a doplnení zákona č. 355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov
 - [13] ZVIRINSKÝ,V. – BADIDA,M. – ANNA,V.: Systémový prístup metodiky autorizovaného merania a hodnotenia hluku. I: Acta Mechanica Slovaca. roč. 6, č.2 ei-'02 (2002), s. 201-206. ISSN 1335-2393.

IPARI HELIKOPTERES REPÜLÉS KÖRNYEZETI HATÁSA

THE ENVIRONMENTAL EFFECT OF INDUSTRIAL HELICOPTER FLIGHT

BERA József

zajvédelmi szakértő
Közép-Duna-völgyi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség
bera@netmail.kvvm.hu

Kivonat: A helikopteres repülés meghatározó szerepet kap a környezeti zajvédelem rendszerében, aminek elsődleges oka a repülési zaj meghatározó jellege, illetve a környezeti zajhelyzetre gyakorolt hatása. Számos vizsgálat történt, ami a helikopterzaj káros hatását, illetve a zajjellemzőkön keresztül a védelem lehetőségeit mutatta be, ugyanakkor nem tulajdonít kellő jelentőséget a helikopterzaj és más eredetű zajterhelés együttes elemzésének. Vizsgálataink kiinduló pontja, hogy olyan szabályozásra tegyünk javaslatot, ami ésszerű keretek között biztosít védelmet a zaj és rezgés ellen, ugyanakkor nem vonja maga után a zajos tevékenység olyan szintű akadályozását, ami megszüntetéshez vezet. A leggyakrabban előforduló és legtöbb problémát eredményező zajos tevékenységek áttekintésével jutottunk el az építőipari tevékenységekhez, ahol a rendelkezésre álló technológiák függvényében nehéz vagy körülményes a zajcsökkentés. Az ipari helikopteres repülés alkalmazása azonban megoldást ad a problémára, amit a rendelkezésünkre álló zajmérési adatok igazolnak. Erre vonatkozó vizsgálati eredményeinket foglaljuk össze az alábbiakban.

Kulcsszavak: környezetvédelem, helikopterzaj, építési zaj, zajcsökkentés.

Abstract: The helicopter flight has a determinant role in the environmental noise protection system which is firstly due to the determinant character of flying noise and its influence on environmental noise condition. Several examinations have been made to demonstrate the deleterious effect of helicopter noise and the possibilities of defence by means of noise attributes. However, they do not attach proper importance to the joint analysis of helicopter noise and noise load of other origin. Our aim of examinations is to make a proposal for a regulation which provides shelter from noise and vibration; on the other hand it does not result in blocking the noisy activity finally resulting in ceasing. By looking over the most frequently appearing and the most problematic noisy activities we have got to the activities of building industry. Reducing noise in the building industry is difficult or elaborate depending on the available technologies. However, the application of industrial helicopter flight provides a solution to the problem which is verified by the available noise survey data. We sum up our examination results relating to that as follows.

Keywords: environmental protection, helicopter noise, building noise, noise reduction.

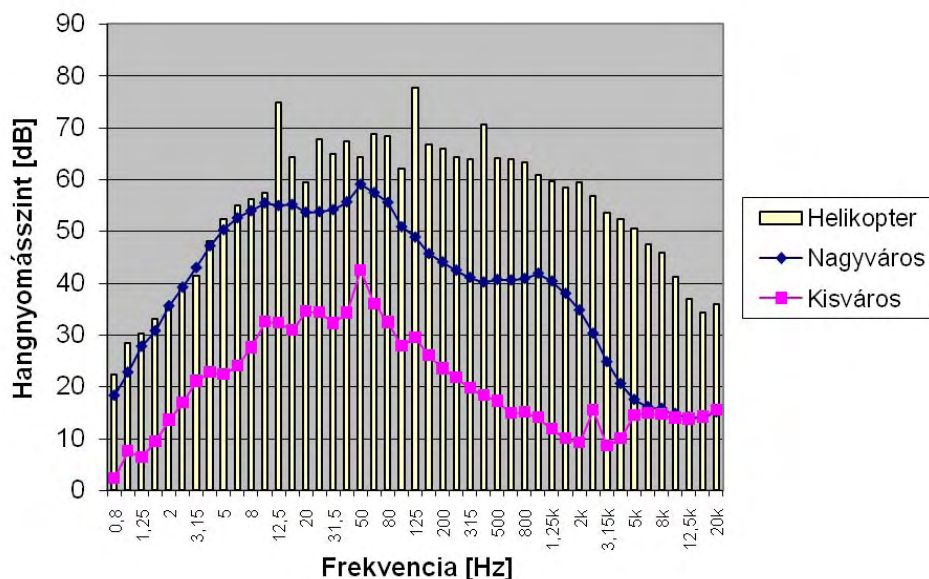
1. ZAJKIBOCSÁTÁSSAL KAPCSOLATOS PROBLÉMAFELVETÉS

Helikopteres repülésnél a zajterhelést elsődlegesen a repülés jellemzői, így a műveletszám, a repülési irány- és útvonal, a repülési magasság, illetve a légijárművek kategóriája és zajkibocsátása határozza meg. Emellett figyelembe vesszük az érintett terület beépítettségét, a védendő homlokzatok elhelyezkedését és a hangterjedést —visszaverődés, hangárnyékolás— befolyásoló környezeti adottságok alakulását is.

Az emberi tevékenységekkel összefüggésben a repülési zaj nem önálló hatásként jelenik meg, a repüléssel érintett területeken egyéb más tevékenységektől vagy zajforrásoktól származó zajterhelés is érvényesül, ami a háttérterhelést adja. A különböző források miatt fellépő zajterhelés összeadódik, így a repülési zaj csak módosítja az alapállapot zajhelyzetét. Különböző időpontokban végzett mérések eredményeit tekintve a környezeti zajterhelés változása a repülés —leszállás, felszállás, földi üzemeltetés— hatásával együtt a települések vagy területek zajvédelmi szempontú összetettségétől is függ.

1.1. Helikopterzaj és háttérterhelés

A háttérterhelés, valamint a repülési zaj értékeléséhez együtt vizsgáltuk a távoli vagy nem azonosítható zajforrásoktól származó, illetve helikoptertől származó zaj jellegét. A méréseket eltérő települési környezetben, illetve egy szokásosan üzemelő helikopter leszállóhely mellett végeztük el. Gazella típusú helikoptertől származó zajszinteket rögzítettünk a leszállóhelytől számított 50 m-re kijelölt terhelési pontban, leszállás - állóhelyi üzem - felszállás során. A mérési eredményeket az 1. számú ábrán foglaltuk össze.



1. ábra Helikopterzaj és háttérterhelés

A mérési eredményeket tekintve nem szorul magyarázatra, hogy városokban, lakóházakkal sűrűn beépített környezetben magas, az előírt határértékekhez közeli, gyakran azt meghaladó háttérterhelés érvényesül, ami területenként és időszakonként természetesen eltérő jelleget mutat. Helikopterek számára kijelölt le- és felszállóhelyek környezetében emiatt nem csak a légijárműtől származó zajszinteket, hanem az összegződő zajterhelést mérjük. A mért értékek helyes kezelése azért kap jelentőséget, mert egy helikopter érkezésekor a környezeti alapzajtól való kiemelkedés, távolodáskor a környezeti alapzajban való eltűnés adja azt a zajhatást, amit a méréseknél is figyelembe kell venni. Erre a mérés technikai feltételek mellett azért van szükség, hogy az észlelés és a mérési adatok közötti összefüggést is tükrözze a minősítéshez felhasznált megítélési zajterhelés.

Az eddigiekben bemutatott vizsgálati eredmények igazolják, hogy alacsony háttérterhelésű, vagy háttérterhelés nélküli környezetben a helikoptertől származó zaj a teljes frekvencia spektrumban meghatározza a le- és felszállóhely környezetének zajhelyzetét. Nagyvárosban ugyanakkor a helikopterzaj a háttérterhelésre jellemző zajterhelést az $f = 12,5$ Hz feletti frekvenciatartományban haladja meg. Kimagasló zajszint értékeket a hallható tartományban, az $f = 125$ Hz és az $f = 400$ Hz értékeknél tapasztaltunk.

Az értékelés alapján ugyanakkor ki kell emelni azt is, hogy a mért zajszint értékek — Gazella típusú helikopter, távolság $s_t = 50$ m — egyik frekvenciasávban sem érték el a 80 dB-t, meghatározó a 70 dB alatti, az $f = 1,25$ kHz feletti tartományban a 60 dB alatti hangnyomásszint érték. Ez a körülmény ad lehetőséget arra, hogy a helikopteres repülés alkalmazható legyen azokban az esetekben, ahol a technológia függvényében a hagyományos zajforrás miatt magasabb zajterhelés alakul ki.

1.2. Építési zaj és háttérterhelés

Az 1. számú ábra a helikopterzaj mellett szemlélteti a települési környezet háttérterhelését is, látható a nagyváros és a kisváros jellemző beépítettségéből adódó markáns különbség. Ezeket a zajszinteket elsődlegesen a zajforrások száma és jellege, illetve a működés körülményei határozzák meg. Ennek része —az üzemi- és a közlekedési zajforrások mellett— az építőipari tevékenység is, illetve az építkezéseken használt gépek működtetése. A terület adottságai ugyanakkor az építési zajnál is hasonló jelentőséggel bír, mint a repülési zaj esetében, ami elsősorban abban mutatkozik meg, hogy a legtöbb esetben a zajcsökkentést a műszaki megvalósíthatóság korlátozza. Ehhez járul hozzá sok esetben a magas költség is.

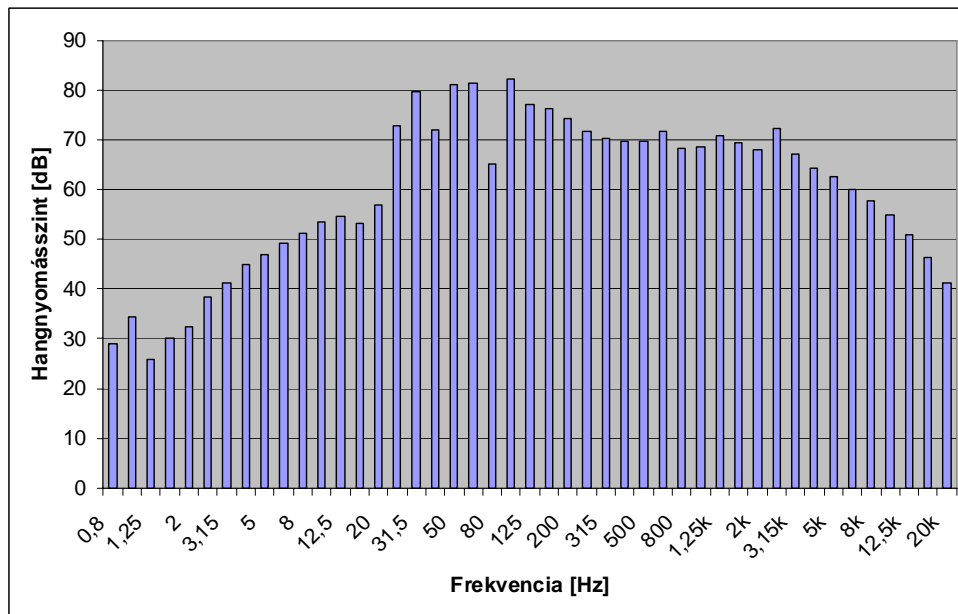
Napjaink kulcsfontosságú feladata az infrastruktúra és a meglévő épületállomány felújítása és korszerűsítése, de igényként merül fel lakóterületeken új építmények, mint kereskedelmi, vagy sport- és szabadidős létesítmények kialakítása. Sok esetben a vegyes funkcióra mutatkozik igény, egymás mellé kerülnek a használat jellege szerint eltérő épületek, amit bonyolíthat az is, amikor eltérő fázisban valósulnak meg az építmények. Nemzetközi sportrendezvényekhez elengedhetetlen a korszerű és nagy alapterületű sportpályák- és csarnokok, ezekhez kapcsolódó kiszolgáló-, szállás- és lakóépületek építése.

Az építőipari kivitelezés tehát életünk és a gazdasági tevékenységek meghatározó része lett, az építési zaj szinte folyamatos a települési környezetben. Mivel jelentős zajhatást jelent, az épített környezet háttérterhelésében tapasztalatunk szerint meghatározó tényezőként jelenik meg. Ennek alátámasztására foglaltuk össze az 1. számú táblázatban a jelentősebb építőipari gépek környezetében műszeres méréssel kimutatott zajszint értékeket. A méréseket az adott berendezéstől számított 5 m-es távolságban kijelölt terhelési pontban végeztük, mérési idő egy-egy alkalommal 15 perc volt.

Építőipari gép	Hangnyomásszint, L_{Aeq}
Univerzális földmunkagép	79 dB
Kanalas kotrógép	77 dB
Földgyalu	82 dB
Tömörítőgép	86 dB
Kézi darabológép (flex)	85 dB
Fúrógép	84 dB
Kompresszor	78 dB
Bob Cat rakodógép	71 dB
Homlokrakodó	84 dB
Hegesztő berendezés	64 dB
Autódaru	82 dB

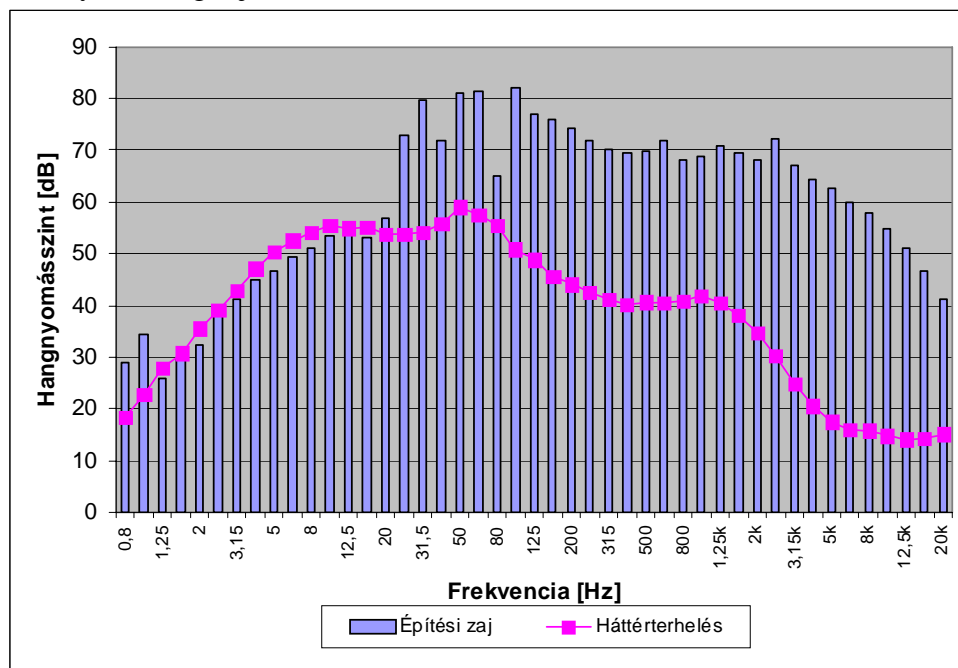
1. Táblázat Építőipari gépek mellett mért hangnyomásszintek

Az építőipari zajra vonatkozó problémafelvetés kiinduló pontja volt, hogy több olyan építési területen merült fel a zajcsökkentési igény, ahol a beépítettség, az épület jellege vagy a speciális építési technológia nem tette lehetővé a hagyományos eljárások alkalmazását. A műszaki zajcsökkentés, mint pl. zajárnyékolás a helyigény vagy a munka- és tűzbiztonság miatt nem volt megfelelő megoldás, az építőipari gépek egyedi zajcsökkentése ugyanakkor jelenleg még nem megoldott. Emellett számolni kell azzal is, hogy az építési tevékenység magas hangteljesítményszinttel működő gépek folyamatos működtetését, vagy zajos tevékenységek sorozatát jelenti, tehát a magas zajszintek mellett meghatározó még az időtényező is. Építési zajra mutat példát a 2. számú ábra, a mérési távolság 50 m volt.



2. ábra Építési zaj 50 m-es távolságban

A 2. számú ábrán szemléltetett építési zaj esetében a zajforrás —együttes működtetés— kompresszor, daraboló- és csiszológép, valamint rakodógép és kalapálás volt. Látható, hogy épületek közötti területen, az építési terület határától 50 m-re elhelyezkedő homlokzat előtt a teljes frekvencia spektrumban magas hangnyomásszintek mutathatók ki. A szemléltetett vizsgálati eredmények szokásos építési tevékenységre vonatkoznak, a technológia esetében hagyományos eszközökkel nehéz, illetve nem elég hatásos az esetleges zajcsökkentés. Az építési zaj és a háttérterhelés viszonyát mutatja a 3. számú ábra, ami nagyvárosban végzett mérés eredményekeit foglalja össze.



3. ábra Építési zaj és háttérterhelés összehasonlítása

2. ÚJ MEGOLDÁS KERESÉSE A MEGLÉVŐ TECHNOLÓGIÁK KÖZÖTT

Az építési tevékenységektől származó zajterhelést az egyenértékű A-hangnyomásszintekre (a későbbiekben: L_{Aeq}) alapozva állapítjuk meg, ami tulajdonképpen egy helyettesítő érték, a zaj erősségén kívül a terhelés hatásidejét veszi figyelembe. Az 1. és 2. számú ábrák alapján is szemléltetett zajszint értékek felhasználásával az (1) számítási eljárással határozható meg a végeredmény, azaz a teljes hatásidőre vonatkozó zajterhelés.

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{T_m} \cdot \left(\sum_{i=1}^k t_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_{Aeqi}} \right) \right], \quad (1)$$

ahol:

- L_{Aeq} – a vonatkoztatási időre érvényes egyenértékű A-hangnyomásszint;
- T_m – a teljes mérési idő;
- t_i – egy zajforrás működésére vonatkozó mérés időtartama;
- L_{Aeqi} – egy zajforrás vagy egy-egy mérési szakasz egyenértékű A-hangnyomásszintje.

A megítélési zajszintet a vizsgált tevékenység részeit bontásával, majd a részeit megállapított A-hangnyomásszintek felhasználásával a (2) számítási eljárással határozzuk meg. Ezzel lehetővé válik, hogy az összes zajforrást figyelembe vegyük, ugyanakkor a működési idők szerint súlyozva kap szerepet egy-egy zajforrás az értékeléshez felhasznált megítélési zajszintben.

$$L_{AM} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{T_v} \cdot \left(\sum_{j=1}^n T_{v,j} \cdot 10^{0,1 \cdot L_{AMj}} \right) \right], \quad (2)$$

ahol:

- $T_{v,j}$ – n darab vizsgálati részeit a zajforrások száma és működési rendje szerint;
- L_{AMj} – rész megítélési zajszint;
- T_v – vonatkoztatási idő.

Az (1) és (2) egyenletek alapján belátható, hogy a különböző építési zajforrások működtetésénél az egyedi hangnyomásszint értékek mellett meghatározó szerepet kap a zajforrások működési ideje is, illetve a zajos tevékenység időtartama. Tapasztalatunk szerint a zavaró hatás és az esetleges határérték túllépés a legtöbb esetben annak is köszönhető, hogy a zajos berendezések folyamatosan, vagy hosszú időtartamban működnek egy-egy területen. A működési idő csökkentésére ugyanakkor nincs lehetőség, mert az építési technológia a legtöbb esetben ezt nem teszi lehetővé. Összefoglalva:

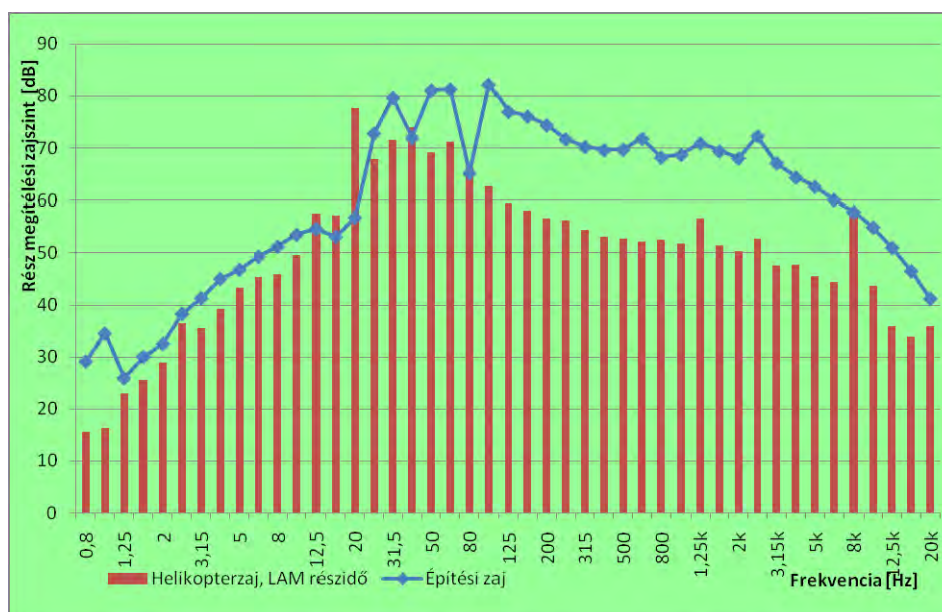
- A technológiából és a zajforrások jellegéből adódó hangnyomásszintek hatékony csökkentésére nincs lehetőség, illetve kevés eszköz áll rendelkezésre;
- A zajforrás működési ideje, illetve a technológiához tartozó zajesemény időtartama is nagymértékben befolyásolja a kialakuló zajterhelést;
- Az építési technológiák és műveletek speciális jellege műszaki zajcsökkentésre kevésbé ad lehetőséget.

2.1. Helikopteres repülés szerepe a zajcsökkentésben

Az építési zajok vizsgálata során tett megállapításokat figyelembe véve szükségszerű volt annak kutatása, hogy milyen más lehetőség kínálkozik az építési tevékenységek környezetében kialakuló zajterhelés csökkentésére. Mivel a zajforrások jellemzői és működési körülményei, a tevékenység jellege és a technológia adottak voltak, egy-egy zajforrás rész megítélési zajszintjét vizsgáltuk a továbbiakban. Elemezve az (1) és (2) számítási eljárást, a működési idők és az L_{Aeq} értékek befolyásolásával sikerült hatékonyan módosítani a végeredményt, azaz az eredetileg magas zajterhelést csökkenteni.

Az (1) alapján az L_{Aeq} és a T_m értékét, valamint a (2) szerinti $T_{v,j}$ és n értékét változtattuk ahhoz, hogy a kívánt zajcsökkentés kimutatható legyen. Ez a törekvés rámutatott arra, hogy keresni kell annak lehetőségét, milyen módon lehet az építési zajforrást és egy-egy lehatárolt zajos tevékenységet helyettesíteni más zajforrással ahhoz, hogy a (2) szerinti n és $T_{v,j}$, illetve $L_{AM,j}$ tényezők változzanak kedvező mértékben.

A gyakorlatban ez úgy érvényesíthető, hogy a zajosabb építési fázisok közül többet elhagyunk, az épületszerkezetet vagy a gépészeti egységet kész állapotban emeljük be a helyére. Külső helyszínen összeállított épületszerkezet telepítéséhez kevesebb idő szükséges, illetve a szállításhoz és mozgatáshoz alkalmazott eszköz a kisebb rész megítélési zajszintek miatt a (2) szerinti megítélési zajszint csökkenését eredményezi. Ennek megvalósításához vizsgáltuk az ipari helikopteres repülés zajhatását. Az értékelésnél nyert adatokat, illetve részidő hangnyomásszinteket a 4. számú ábrán szemléltetjük.



4. ábra Részidőre vonatkozó helikopterzaj értékek

3. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BERA, J.**, Zajjellemzők természetes és épített környezetben, Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XIV. évfolyam, Kolozsvár, 2009. március, o. 41-44.
- [2] **BERA, J.**, Repülőter-használat és zajterhelés összefüggései a repülőképzésben, Repüléstudományi Közlemények Különszám, 2010. április 16., Szolnok.
http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2010_cikkek/Bera_Jozsef.pdf
- [3] MSZ 18150-1:1998 A környezeti zaj vizsgálata, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.

KOMPLEX HIDROGEOLÓGIAI VIZSGÁLATOK ÉS MODELLEZÉS A MAGYAR-UKRÁN HATÁRTÉRSÉGBEN

COMPLEX HIDROGEOLOGICAL STUDY OF A TRANSBOUNDARY AQUIFER BETWEEN HUNGARY AND UKRAINE

SZŰCS Péter¹, VIRÁG Margit², CSEGÉNY József³, SZÁNTÓ Judit¹

¹Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, 3515. Miskolc – Egyetemváros, ²VIZITERV Environ Kft., 4400. Nyíregyháza, Széchenyi u. 15., ³FETIKÖVIZIG, Nyíregyháza, Széchenyi u. 19.
hgszucs@uni-miskolc.hu

Kivonat: Egy EGT és Norvég társfinanszírozású projekt keretében egy magyar-ukrán határral osztott felszín alatti vízáradó hidrogeológiai komplex vizsgálata és hidrodinamikai modellezése valósult meg 2009-ben. Mivel Ukrajna nem tagja az Európai Uniónak, ezért a projekt nagy szerepet játszhat abban, hogy a jövőben a felszín alatti vízkészletekkel történő fenntartható gazdálkodás a vizsgált régióban az EU Vízi Keretirányelvének is megfeleljen. A mintegy 550 km² területű határral osztott felszín alatti vízáradó több mint 100000 ember vízellátásában játszik kiemelkedő szerepet. A fenntartható vízgazdálkodás alapjainak megteremtése érdekében a projekt számos fontos feladatot is megoldott, amelyek közül kiemelkednek a következők: a) közös vízföldtani adatbázis létrehozása; b) terepi mérési kampányok szervezése; c) közös földtani és hidrogeológiai koncepcionális modell kialakítása; d) a regionális léptékű hidrogeológiai modellezés alapjainak megteremtése; e) a határral osztott felszín alatti vízáradó kalibrált hidrodinamikai modelljének elkészítése; f) különböző jövőbeli vízgazdálkodási forgatókönyvek hatásainak szimulálása a kialakított modell segítségével; g) az EU Vízi Keretirányelvnek megfelelő vízgazdálkodási stratégia kialakítása a vizsgált régióban.

Kulcsszavak: modellezés, vízgazdálkodás, hidrogeológia

Abstract: In the framework of an EEA Norway grants project involving industrial and scientific partners, complex hydrogeological investigation and groundwater modeling of a regional transboundary aquifer between Hungary and Ukraine were carried out in 2009. This challenging cooperation work was completed by an EU country (Hungary) and a non-EU country (Ukraine). This pilot project demonstrated how the EU Water Framework Directive can be applied for a regional scale transboundary aquifer between Hungary and Ukraine. The targeted aquifer, which extends on both sides of the Ukrainian-Hungarian border on 550 km² area, supplies drinking water to a population of about 100000 inhabitants in Ukraine and in Hungary. In order to achieve the sustainable water management of the investigated internationally shared aquifer, the main tasks of the international project were: a) development of a common hydrogeological data-base; b) additional field measurements; c) interpretation of the geology for a common conceptual hydrogeological approach; d) creating the conceptual flow model of the transboundary aquifer; e) regional scale groundwater modeling; f) model simulation of different scenarios for groundwater management purposes; g) review of the main results obtained from the transboundary approach in the view of the European Water Framework Directive.

Keywords: modeling, water management, hydrogeology

1. BEVEZETÉS

A projekt célterülete: Magyarország, Szabolcs-Szatmár-Bereg megye, Beregi-sík - Ukrajna, Kárpátalja megye, a Beregszászi járás területe. Kárpátalja ukrán-magyar határ menti szakaszain a lakosság jó ivóvízzel való ellátásának egyetlen elfogadható alternatívája a felszín alatti vízből történő vízbeszerzés. A projekt célja az országhatárral osztott felszín alatti víztestek hidraulikai és környezetvédelmi vizsgálata a Beregszászi járás és a szomszédos magyar határ menti területen.

Fenti célok teljesítése érdekében a Felső-Tisza-vidéki Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság az EGT és Norvég Finanszírozási Mechanizmus által támogatott „Határon átnyúló együttműködés fejlesztése a magyar-ukrán határtérségben” című program keretében

pályázatot nyújtott be. A támogatás elnyerése után a tervezési munkák elvégzésére a VIZITERV Environ Kft. kapott megbízást.

A projekt kapcsolódik a Magyarországon folyó Ivóvízbázis védelmi Programhoz, valamint a Víz Keretirányelv vízgyűjtő-gazdálkodás tervezési munkáihoz. A terv kidolgozásával a terület jövőbeni ivóvíz ellátási koncepciója kerül megalapozásra. A felszín alatti vizek mennyiségi és minőségi állapotának vizsgálata, és megismerésére és jó állapotban tartására való törekvés pedig illeszkedik az EU környezetvédelmi- és víz-politikai elvárásaihoz. A projekt kedvezményezettje a FETIKÖVIZIG Nyíregyháza, ukrán partner szervezete pedig a Kárpátaljai Geológiai Expedíció.

A vizsgált területen földtanilag egybefüggő, hidraulikailag egységes rendszert szel át az országhatár. Ezen vízbázisok a fedőrétegek anyaga, vastagsága miatt sérülékenyek. A szennyezőanyag terjedése így veszélyeztetheti mind a hazai, mind pedig az ukrán oldali vízkivételeket. Mivel hazánk területének medence jellege adott, a természetes áramlási irányok miatt leginkább a hazai vízkivételek a veszélyeztetettebbek. Ahhoz, hogy a felszín alatti vizek vonatkozásában is a közös érdekeltségű terület vízgazdálkodási és vízföldtani adottságait megismerhessük számos részletekbe menő adatot, paramétereket kell ismernünk. Mind mennyiségi, mind pedig minőségi oldalról nézve közösen kell kezelni a területen előálló vízkészlet-gazdálkodási és vízminőségi kérdéseket.

2. VÍZFÖLDTANI VISZONYOK

A terület magyar oldalon a Beregi-sík, ukrán oldalon pedig a Beregszászi síkság egy részét foglalja magába. A kijelölt területrészt kb. 68%-ban Magyarország, 32%-ban pedig Ukrajna területéhez tartozik. A terület vízfolyásait folyók és csatornák alkotják. Fő folyója a Tisza, ez egyben a terület Ny-i (magyarországi), illetőleg D-i (magyar és részben ukrán területen) határát képezi, továbbá a Borzsa patak (ukrán területen). A térséget igen sűrű belvízcsatorna hálózat is jellemzi. A terepszint átlagos magassága 106 – 120 m, mely magyar területen DÉ irányú enyhe lejtést mutat, ukrán területen a terepszint esése nagyobb KNY-i irányú, a Tisza folyó felé történő lejtéssel [1]. A földtani képződmények közül a pliocén rétegzett, tengeri törmelékes összlet és a pleisztocén alluviális összlet víztároló. Ez a két víztároló komplexum egy hidraulikailag összefüggő rendszert alkot, melyet a nagy hidraulikai ellenállású agyagos felépítésű felső pliocén (levantei) két alrendszerre tagol. Az alsó pliocén lágy, sós hévizeket tároló összletre és a hideg édesvizeket tároló pleisztocén törmelékes összletre [2].

A hideg édesvizeket tároló pleisztocén vízáadó rétegek a közüzemi ivóvízellátás alapját képezik. Ez a negyedidőszaki rétegsor három osztatú [3]: az alsó-pleisztocén összlet elsősorban homokos, kavicsos jellegű, a középső inkább iszapos, agyagos, bár helyenként ebben is igen jó vízádók fordulnak elő. A negyedkor legfelső része ismét jobb vízádnak nevezhetők, a homokos rétegek aránya magas. Különösen nagy jelentőséggel bír az előzőekben említett alsó-pleisztocén kavicsos összlet, mely regionális léptékben is nyomozható a teljes területen, víztároló képességét tekintve is igen fontos. Az összlet igen kedvező hidraulikai adottságokkal bír, az alsó pleisztocén vízáadó összlet transzmisszivitásának értéke akár a 2000-4000 m²/d-t is elérheti [4].

A bemutatott földtani szelvények alapján is látható, hogy a kavicsos, görgetes részeken a felső pár méteres fedőt leszámítva egyetlen réteg összlettel van dolgunk. Így a pleisztocénben tárolt víz esetenként talajvíz jellegű, ahol a felülről jövő szennyeződések kivédésének egyetlen lehetséges módja a szűrés adta lehetőségek kihasználása. Ezért területünkön a pleisztocén alsó szintjeire való települést láttuk célszerűnek a közműves vízellátás tervezésével. A vizsgálati terület D-i határán a Tisza folyó Szatmárcseke – Tiszabecs közötti partszakaszán jelentős partiszűrésű készletekkel is számolhatunk. A minta terület

magyarországi részén ezen összlet vastagsága 100-150 m, ukrán oldalon pedig 60-100 m-re becsülhető. A készletbecslések alapján a felszín alatti vizekből kitermelhető ivóvízkészlet nagysága ukrán oldalon a Kárpátaljai síkság teljes területén kb. 1,1 millió m³/d [5].

A természetes állapotbeli vízmozgást tekintve a vizsgált terület az enyhén pozitív, ill. semleges nyomásállapotú övezethez tartozik, amit a talajvíz és az alsó pleisztocén rétegvíz közötti nyomáskülönbség mutat. A rétegvizek áramlási iránya a terület É-i részén K-Ny-i, míg a terület jelentősebb részén ÉK-DNy-i irányú [6].

3. HIDRODINAMIKAI MODELLEZÉS

A modellezés célja:

- potenciál (vízszintek) meghatározása (depresszió),
- szivárgás irányának meghatározása,
- szivárgási sebesség meghatározása,
- áramvonalak meghatározása.

A regionális léptékű hidrodinamikai modellezés feltétlenül szükséges ahhoz, hogy a határral osztott felszín alatti rétegzett vízadó fenntartható vízgazdálkodását a jövőben biztosítani lehessen. Emellett így megvalósítható az is, hogy vízgyűjtő alapú, az EU Vízkeret Irányelvével harmonizáló hidrogeológiai vizsgálatokat végezhesünk a térségben [7].

4. A RÉSZLETES, REGIONÁLIS LÉPTÉKŰ HIDROGEOLÓGIAI MODELL FELÉPÍTÉSE

A rendelkezésre álló dokumentációkban szerepelő földtani és vízföldtani információk alapján egy három-réteges, időben állandó ('steady-state') 3-dimenziós áramlási modellt készítettünk.

A vizsgálatokból nyilvánvalóvá vált, hogy a vizsgált, határral osztott vízadó rétegei pleisztocén korúak. A modellezett térrész kelet-nyugati kiterjedése kb. 32 km, míg az észak-déli méret kb. 21 km. A regionális modellezett terület nagysága kb. 550 km² (1. ábra). A geológiai határokkal, illetve vízfolyásokkal határolt modell eredményeket a Surfer program segítségével az alábbi EOY koordinátákkal határolt területen jelenítettük meg:

EOY Y: 880000 m – 928000 m; EOY X: 304000 m – 328000 m.

A modellezési tevékenység során EOY koordinátákat használtunk az ukrán oldali objektumok beépítése során.

A regionális hidrogeológiai modellben az alap cellaméret egységesen 200 m * 200 m.

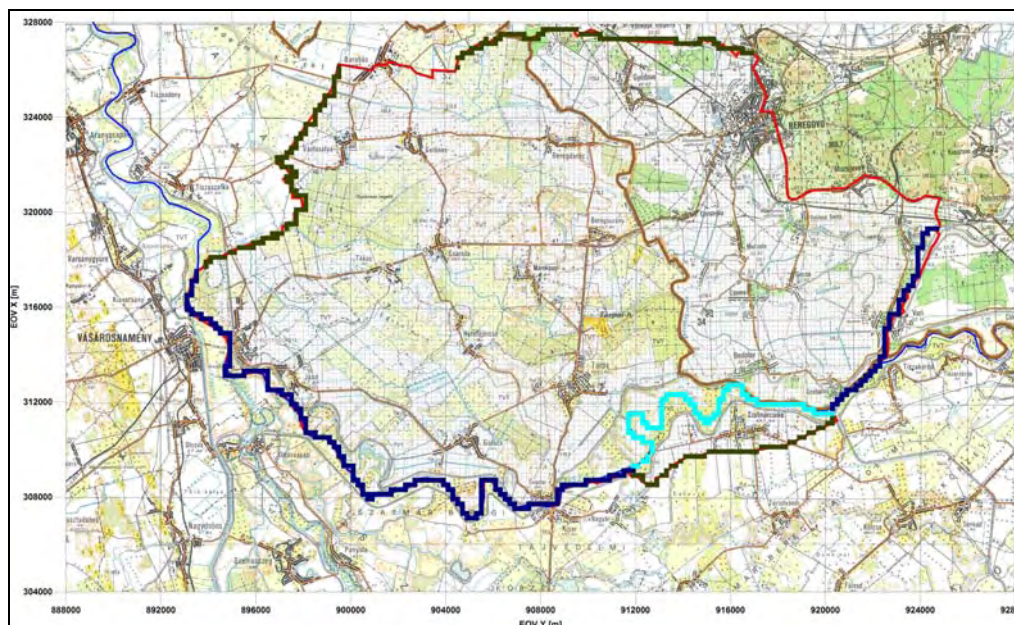
A modellezett terület nagysága mellett ez a cellafelosztás már elegendő pontosságot biztosít anélkül, hogy túlságosan megnövelnénk a cellák számát, ami a szimulációs számítások és vizsgálatok lelassulását jelenthetné.

Ebben a regionális modellben a termelő kutak környékén további cella besűrítésekre nem volt szükség. A vízszintek változásait és a depressziós felületeket így is kellő pontossággal lehet nyomon követni. A megadott magyar oldali kutak átlagos vízszintjei és az ukrán oldali kutak vízszint adatai alapján elvégeztük a regionális hidrodinamikai modell kalibrációját.

A hidrodinamikai modell megbízhatóságát jellemző RMSE hibajellemző értékére 0.32 m-t kaptunk. Ez azt jelenti, hogy átlagosan 32 cm az eltérés a modell által számított és a mért, tényleges vízszintek között. Ez a hibaérték egy regionális léptékű áramlási modell esetében igen jó megbízhatóságot jelent.

A regionális modell szimulációja során három különböző termelési variánst vizsgáltunk meg. Az 1. termelési variáns a jelenlegi vízkivételi helyzet hatását kívánja szimulálni. A modellezett területen a határ két oldalán számos település található. A településeken található vízművek vízkivételeit, illetve a talajvizes rétegből történő legális és illegális célú

vízkivételeket is megpróbáltuk beépíteni a hidrodinamikai modellbe.



1. ábra Az alkalmazott rácsháló és a peremfeltételek térképi ábrázolásban

A magyarországi vízkivételeket a FETIKÖVIZIG adatai alapján helyeztük el a modellben [8]. Megállapítható, hogy a magyar oldalon a hatóságok által engedélyezett és ismert vízki vétel mértéke valamivel több, mint $3000 \text{ m}^3/\text{nap}$, ebből $1230 \text{ m}^3/\text{nap}$ a második, míg $1970 \text{ m}^3/\text{nap}$ a harmadik modell réteget terheli [9]. Konkrét adatok hiányában az első modell rétegre településenként átlagosan $20 \text{ m}^3/\text{nap}$ (lakossági kis kutas vízhasználatok) vízki vételt becsültünk, ami $2600\text{-}3000 \text{ m}^3/\text{nap}$ -nak felel meg. Összes vízki vétel az ukrán oldalon: $15200 \text{ m}^3/\text{nap}$. Megállapítható, hogy az ukrán oldali vízki vétel többszörösen meghaladja a jelenlegi magyar felszín alatt vízki vétel mennyiségét.

A magyar oldali vízki vételek növekedése nem várható a közel jövőben. Ezért a 2. termelési variáns során a távlati vízigények növekedésével csak az ukrán oldalon számoltunk. Összes vízki vétel az ukrán oldalon: $28\,000 \text{ m}^3/\text{nap}$.

A 3. termelési variáns esetében a magyar oldali vízki vételek növekedését is számításba vettük. A megadott jelenlegi vízki vételek mértékét kb. másfélszeresére növeltük. Így a termelés a feltételezett, nem regisztrált vízki vételekkel együtt már eléri a kb. $8\,000 \text{ m}^3/\text{nap}$ hozamot. Emellett beépítettük a regionális modellbe a szatmárcsekei távlati vízbázis $35000 \text{ m}^3/\text{nap}$ hozamú, parti szűrésű rendszerben működő vízki vételét is.

A jelenlegi termelési helyzethez képest a 3. termelési variáns esetében már egy igen jelentős, kb. $93000 \text{ m}^3/\text{nap}$ hozamú vízki vétel hatását szimuláltuk.

Megállapítható, hogy elsősorban az ukrán oldalon már igen jelentős vízszint csökkenésekre kellene számítani a harmadik termelési verzió esetében, amelynek a hatásai a magyarországi határ közeli területeken is érezhető lenne [10].

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgált terület a magyar-ukrán határ mentén magyar oldalon a Szatmár-Beregi síkság Beregi-sík tájegységéhez, ukrán oldalon pedig a Kárpátaljai alluviális síksághoz tartozik, nagysága 550 km^2 . Napjainkban a környezetvédelmi és ökológiai problémák feltárása és

megoldása mindkét ország határ menti területein a legaktuálisabb kérdések közé tartozik. Ezen belül a vízkészlet gazdálkodás területén a felszín alatti vizek mennyiségi és minőségi védelme érdekében közös metodikát kell kidolgozni.

A vizsgált területen jelentős felszín alatti vízkészletekkel (édes- és termálvízkészlettel) rendelkezünk. A határ két oldalán levő felszín alatti vízadó rétegek sajátos közettani kifejlődéssel és áramlási viszonyokkal rendelkező egységes hidrogeológiai rendszert képeznek. A felszín alatti készletek keletkezése szempontjából a terület a Kárpátok hegységi rendszeréhez tartozik.

A természetes állapotbeli viszonyokat tekintve ukrán oldali szakértői becslés alapján megállapítható, hogy a felszín alatti vizek fajlagos hozama átlagosan $0,8 \text{ em}^3/\text{nap}/\text{km}$. A felszín alatti áramlási terület figyelembe vett szélessége 80 km. A Magyarország területére érkező táplálás nagysága $64 \text{ em}^3/\text{nap}$. A Kárpátaljai síkság teljes területén a hideg édesvízkészlet becsült nagysága 1,1 millió m^3/d -re tehető. A vizsgált vízadó rétegek 100-150 m között helyezkednek el a terepszint alatt. A termál ásványvízkészlet hőmérséklete $37-70^\circ\text{C}$, a készlet kapacitása ukrán oldalon kb. $50 \text{ em}^3/\text{nap}$, a vízadó rétegek mélységbeli elhelyezkedése max. 1,2 km.

Magyarországon a Tisza folyó bal partján Szatmárcseke-Tiszaórád térségében $35 \text{ em}^3/\text{nap}$ kapacitású vízbázis került megkutatásra. Ez a megkutatott felszín alatti vízkinyerő hely stratégiai jellegű ún. távlati vízbázisként szolgál, mely a jövőbeni fejlesztések kapcsán előálló vízigények kielégítésére termelésbe vonható. Ukrán területen is nagy kapacitású vízbázisok találhatók, a Beregszász várost ellátó mezőgazdasági vízbázis $40 \text{ em}^3/\text{d}$, az ungvári vízbázis pedig $133 \text{ em}^3/\text{d}$ kapacitással rendelkezik. Ezen kívül lehetséges vízkivételek várhatók még a Mezőkaszony és Muzsaly térségi bányászati tevékenységek folytatás ill. bánya nyitások kapcsán. A szükségessé váló bányászati víztelenítések akár $100 \text{ em}^3/\text{nap}$ kapacitású vízkészlet kitermelését is eredményezhetik. Nyilvánvaló, hogy amennyiben a határ mindkét oldalán fokozódik a felszín alatti vízkivételek nagysága, akkor az a depressziós tölcser növekedésével jár. Mindez tehát a felszín alatti áramlási tér hidraulikai viszonyainak és a kitermelhető felszín alatti vízkészleteknek az átrendeződését eredményezheti mindkét ország területén.

Az elvégzett munkák alapján is megállapítható, hogy jelen projekt keretében megalkotott regionális modell további pontosítása szükséges. Ahhoz, hogy a határ menti felszín alatti vízkészlet gazdálkodást irányítani és ellenőrizni lehessen, feltétlenül szükséges a felszín alatti vizek közös monitoring rendszerének kialakítása, a megfigyelési pontok megfelelő hálózataival. Ennek a hálózatnak olyan regionális megfigyelő hálózatként kell funkcionálnia, mely magába foglalja a felszín alatti vizek áramlási rendszerének teljes területét: a beszivárogtató tápterületet, a semleges illetőleg a feláramlási területeket.

Az ukrán partner javaslata alapján a határ menti területek felszín alatti vizeinek racionális felhasználása és ellenőrzése céljából létesítendő megfigyelő kutakat sugár irányba, négy szelvény mentén célszerű létrehozni.

6. KÖVETKEZTETÉSEK

Elkészítettük a magyar-ukrán határral osztott vízadó összlet regionális léptékű, átlagos viszonyokat tükröző, permanens hidrodinamikai modelljét. A komplex vízadó a jelenlegi termelési viszonyokat (1. termelési variáns) figyelembe véve jó mennyiségi állapotokat tükröz. Jelenleg Beregszász környezetében figyelhető meg kismértékű depressziós hatás a felszín alatti vízkivételek hatására.

Az elkészített, határon átnyúló regionális hidrogeológiai modell megfelelően képes szimulálni jövőbeli vízkivételek, illetve a globális éghajlatváltozással összefüggő csapadék és párolgási viszonyok változásának a hatását. Így a jelenlegi termelési helyzet mellett további

két, a jövőben várható termelési variáns hatását is megbízhatóan meg tudtuk vizsgálni.

A 2. termelési variáns esetében prognosztizált felszín alatti vízkivétel növekedés hatása teljesen elviselhető a regionális vízadó esetében. Beregszász közelében mintegy 0.5 méteres vízszintemelkedés várható, míg a mezőgecei vízbázis esetében viszonylag kis területen várható 0.5 métert meghaladó vízszint csökkenés. A magyar oldal vízszint eloszlásában nem történik érdemi átrendeződés. A 2. termelési variáns esetén kialakuló viszonyok lehetővé teszik a regionális vízadó fenntartható vízgazdálkodását. Káros mértékű depresszió kialakulására elhanyagolható területen számíthatunk a mezőgecei vízkivételek környezetében.

A 3. termelési variáns esetében már egy igen jelentős, kb. 93000 m³/nap hozamú vízkivétel hatását szimuláltuk. Mivel a vízkivételek zöme az ukrán oldalon, illetve a szatmárcsekei távlati vízbázis termelése is az ukrán oldal közelében történne, az ukrán oldalon káros mértékű vízszint süllyedések kialakulását prognosztizálhatjuk. Beregszásztól délre az ukrán területeken 1 métert is meghaladó felszín alatti vízszintsüllyedésekre számíthatunk, aminek számos káros következménye lehet. Ebben az esetben már a magyar területeken is számíthatunk 0.5 métert meghaladó talajvízszint süllyedésekre. A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a 3. termelési variáns megvalósulása nem fenntartható és káros folyamatok kialakulását eredményezheti a regionális vízadóban. Ezért a 3. variáns megvalósulása helyett célszerű lehet az elkészített regionális hidrodinamikai modellel megvizsgálni azt a jövőben, hogy mekkora lehet a kölcsönösen (Magyarország – Ukrajna) elfogadható, fenntartható és elviselhető mértékű felszín alatti vízkivétel a térségben.

A 3. termelési variáns esetében emellett megadtuk azt is, hogy a szatmárcsekei távlati vízbázis működése esetében hogyan alakulnának az ukrán oldalra is átnyúló, a 123/1997.(VII.18.) Kormányrendelet szerinti védőidomok és védőterületek 5 és 50 éves elérési időkkel számolva. Megállapítható, hogy ha az ukrán területen kisebb mértékű vízkivételt feltételeznénk, akkor az ukrán oldalon még mélyebbre nyúlnának be az 50 és 5 éves védőterületek.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ERDÉLYI M.:** A magyar medence hidrodinamikája (VITUKI közlemények 18), 1979.
- [2] **HALÁSZ B.:** „A 13/B TVK alegység felszín alatti vízkészlet vizsgálati tanulmány”, 1990.
- [3] **URBANCSEK J.,** Kútkataszter.
- [4] **HALÁSZ B.:** Felszín alatti vizekkel való gazdálkodás rétegzett hidrológiai rendszerekben (doktori értekezés), 1994.
- [5] **JUHÁSZ J.:** Hidrogeológia. Harmadik átdolgozott kiadás. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 1-1176., 2002.
- [6] **MAJOR P.:** A Nagy-Alföld talajvízháztartása, Hidrológiai Közlöny, 73. évf., 1993., 1.szám., 1993.
- [7] **NATO TUDOMÁNY A BÉKÉÉRT PROGRAM:** A Szamos-folyó alluviális ösztetének komplex hidrogeológiai vizsgálata. Zárójelentés. Miskolci Egyetem, 2004.
- [8] **FETIKÖVIZIG:** Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv, Felső-Tisza alegység., 2009.
- [9] **FETIVIZIG MUNKACSOPORTJA:** A Beregi – öblözet vízgazdálkodása, különös tekintettel az országhatárral megosztott vízbázisra, K+F munka, 1986.
- [10] **GÁMA-GEO KFT.:** A szatmári kavics ösztet vízkészletének és a Szatmárcseke-Tiszaóród távlati vízbázis hidrogeológiai védőidomának meghatározása., Miskolc., 2003.

ENERGIATERMELŐ NAPELEMEK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

COMPARISON TEST OF PHOTO-ELECTRIC SOLAR PANELS

HAGYMÁSSY Zoltán⁽¹⁾ – GINDERT-KELE Ágnes⁽²⁾

(1) egyetemi docens

(2) egyetemi adjunktus

Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma
Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Agrár-műszaki Tanszék
4032 Debrecen Böszörményi út 138.
Tel: 52/508-444, e-mail: hagymassy@agr.unideb.hu

Kivonat: A Debreceni Egyetem Agrár-műszaki Tanszékének Oktató-Kutató bázisa rendelkezik egy foto villamos nap erőművel. Tájékoztatást adunk a foto-villamos erőmű kialakításáról és üzemeltetésének tapasztalatairól. Az elhelyezett napelemek összes teljesítménye (Kyocera, Dunasolar, és Siemens) 8, 64 kW. A vizsgált napelemek típusai: Siemens ST 40w (72 db), Kyocera KC 120 w (24 db), Dunasolar DS 40w (24 db). A napelemek összes felülete $A=110 \text{ m}^2$.

A foto villamos erőmű és mérő rendszerrel összehasonlító vizsgálatokat végeztünk, elemezve a különböző típusú napelemek fizikai jellemzőit. Az analizált adatok lehetőséget adnak a napelemek összehasonlítására és használatának lehetőségére a mi régiókban.

Kulcsszavak: napenergia, foto elektromos (PV) napelem, mért hatásfok

Abstract: A The Department of Agricultural Machinery and Research base of the University of Debrecen has a. We gave information about the main operating characteristics and operation experience of the photo-electric power plant. The total installed capacity of solar panels (Kyocera, Dunasolar, and Siemens) is $P=8,64 \text{ Kw}$. The tested types of solar panels: Siemens ST 40W (72 pc), Kyocera KC 120 W (24 pc), Dunasolar DS 40W (24 pc). The total surface of solar panels are $A=110 \text{ m}^2$.

A comparison test was made with the photovoltaic power plant and measuring device to analyze the different types of solar panels physical properties. The analyzed dates provide an opportunity to compare different types of solar cells, and the usage conditions of solar cells in our region.

Keywords: solar energy, photovoltaic (PV) panel, measured efficiency

1. BEVEZETÉS

1.1. Előzmények, a kutatási téma aktualitása

A fosszilis energiahordozók (kőolaj, földgáz) árának eddig nem tapasztalt emelkedése mindenképpen indokolja a napenergia mezőgazdasági hasznosításának az eddigieknél sokkal kiterjedtebb alkalmazását az Észak Alföld, közelebbről Debrecen térségében. Magyarországon a napsütéses órák száma: 1900-2200 óra/év, a sugárzás átlagos intenzitása. Kb. 1200 Kwh/m². A napenergia előnyei: - gyakorlatilag korlátlanul rendelkezésre áll; - alkalmazásával fosszilis energiahordozók válthatók ki, tiszta, természetes, következképpen, környezet-barát energiaforrás. A geotermikus rezervoárok modellezését Pokorádi írta le [3], [4] tanulmányában.

1.2. A fotovillamos elven működő napelemek

A napelemek félvezető anyagból készülnek. A félvezető anyag tulajdonságai kedvezőek ahhoz, hogy a napsugárzással érkező fotonok elektronokat szabadítsanak fel. [2]

A sorozatban gyártott napelemek általában szilícium alapúak, léteznek monokristályos,

polikristályos és amorf technológiával gyártott panelek.

1. A monokristályos napelemek egy kristálytömbből készülnek. A szilícium alapanyagot egy-kristályá húzzák, majd szeletelik, amelyet olvadékból állítanak elő. Az alapanyag homogenitása befolyásolja az átalakítási hatásfokot. Az egykristályos szilíciumból készült napelemek rendszerint hosszú élettartalmúak, jó hatásfokkal rendelkeznek. Jelenleg 150 mm-es egykristályok elterjedtek ipari méretekben. Hatásfokuk a 15-17%-ot is elérheti.

2. A polikristályos napelemeket speciális, irányított lehülési gradiens öntési eljárással nyerhető tisztított szilíciumból. A polikristály oszlopos egykristályokból áll össze. Ez az öntési eljárás kevesebb energiát használ fel a gyártás során, a technológia 500 mm nagyságú kristályok gyártását is lehetővé teszi. Az elemek gyakorlatban mért hatásfoka 13-15 %.

3. Az amorf szilíciumból készült napelemek előállítása vékonyréteg technológiával történik. A technológiához hordozóanyagra van szükség, ami legtöbbször üveg, de lehet acélfólia is. Üveg esetén a megvilágított oldalra jó vezetőképességű ón-dioxid, majd amorf szilícium aktív rétegek felvitele történik. A gyártási technológia az anyagtakarékosság miatt olcsóbb, a hatásfokuk viszont csak 4-6 %. [2]

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A vizsgálatok feltételei a Debreceni Egyetemen

A Debreceni Egyetem Agrár-műszaki Tanszékének Oktató-Kutató bázisán megépítésre került egy 8,64 kW teljesítményű, 110 m² hasznos felülettel rendelkező foto villamos erőmű. A bázison a hallgatók, és a téma iránt érdeklődők átfogó képet kaphatnak a megújuló energiaforrások felhasználási lehetőségeiről és a felhasználáshoz szükséges technológiai megoldásokról. Annak érdekében, hogy a modulcsoportok egymástól függetlenül is üzemeltethetők legyenek, három inverter (SB 2500) került beépítésre. Az erőműhöz kapcsolódik egy meteorológiai állomás, amely egy PT 100 típusú kombinált hőmérséklet- és légnedvesség mérőből, CM 11 pyranométerből, kanalas szélsébség- és széliránymérő berendezésből áll.



1. ábra Kyocera KC 120 w, Siemens ST 40w, Dunsolar DS 40w napelemek elhelyezése

A mért üzemi és meteorológiai adatok rögzítését, tárolását az SMA által gyártott Sunny Boy Control végzi. Az adatrögzítő nyolc analóg és nyolc digitális bemenettel valamint nyolc digitális kimenettel rendelkezik. A nyolc analóg bemenetből egyet a léghőmérséklet mérésére egyet a modulhőmérséklet mérésére használunk. A nem használt csatlakozási pontok lehetőséget kínálnak arra, hogy más eszközöket is csatlakoztathassunk a rendszerhez, pl. szélmotort. Az adatrögzítőt RS232 kapcsolattal közvetlenül csatlakoztatni lehet asztali PC-hez, amellyel a mérési eredményeket lehet értékelni és grafikusán ábrázolni. Az Ms Excel táblázatban 15 percenként rögzítésre kerülnek üzemi és meteorológiai jellemzők. Egy napon ez átlagosan 150 – 160 mért adatot jelent. [1]

2.2. A vizsgált napelemek típusai

A vizsgált napelem paneleket úgy válogattuk össze, hogy mindhárom szilícium alapú technológiával gyártott csoportot képviseljenek. A 72 db. Siemens ST 40w panel monokristályos technológiával készült, a 24 db. Kyocera KC 120w panel polikristályos technológiával lett legyártva, míg a 72 db. Dunasolar DS 40w panel amorf technológia alkalmazásával készült. (1. ábra)

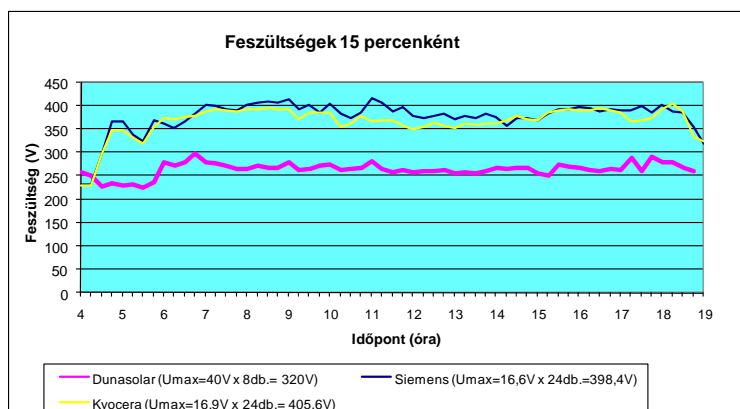
Modul típus	Hasznos felület (m ²)	Elemzés / elektromos bekötés
Kyocera KC 120 w	22,23	24 db két sorban P _{max} =120w x 24 db= 2880w UDC _{max} =16,9V x 24db.= 405,6V
Siemens ST 40w	30,65	72 db két sorban P _{max} = 40w x 72 db= 2880w UDC _{max} =16,6V x 24db.= 398,4V
Dunasolar DS 40w	56,92	72 db négy sorban (9x8) P _{max} = 120w x 24 db=2880w UDC _{max} =40V x 8db.= 320V
Σ Felület	109,8	P _{max} = 2,88Kw x 3=8,64Kw

1. Táblázat A vizsgált napelemek típusai, hasznos felületük, és teljesítményük

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEÉSÜK

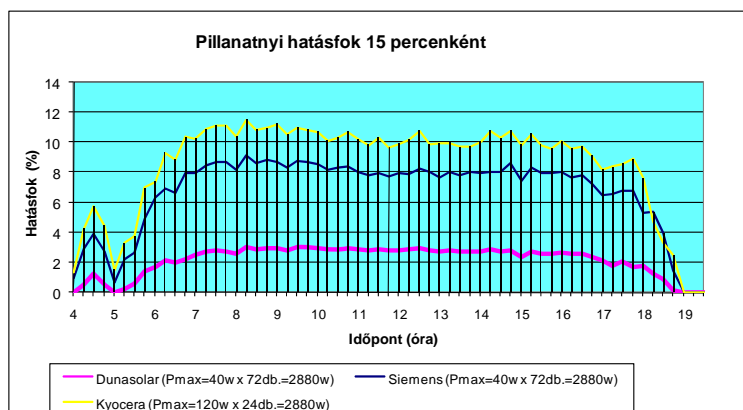
3.1. A beépített modulok feszültsége és hatásfoka

Debrecen térségére jellemző nyári napsütéses napon június 23.-án, méréseink szerint a modulfeszültség megközelítette a panelek elméleti maximális egyenfeszültségét. (2. ábra)



2. ábra Feszültségek 15 percenként

Vizsgálataink alapján megállapítható, hogy a gyakorlatban mért hatásfokok nem érik el a gyárilag megadott adatokat (3. ábra). A mért hatásfokok tartalmazzák a Sunny boy SB 2500 inverter belső ellenállásából eredő veszteségeket (93-95%), valamint a vezetékek ellenállását.



3. ábra Hatásfokok 15 percenként

A veszteségeket levonva megállapítható, hogy a korrigált valós panel hatásfok Polikristályos (Kyocera) napelem panelek esetén közelítette meg legjobban az elméletileg elvárható értéket, míg a monokristályos Siemens és az amorf Dunasolar panelek hatásfoka a gyárilag megadott értékek alatt van.. (2. Táblázat)

Napelem cella	Elméleti hatásfok	Mért hatásfok	Korrigált valós panel hatásfok
Monokristályos (Siemens)	13....16%	8-9%	9-10%
Polikristályos (Kyocera)	12...15%	10-11%	11-12,2%
Amorf (Dunasolar)	6.....8%	3-3,5%	3,4-4%

2. Táblázat Hatásfokok

3.2. A beépített elemek üzemeltetésének tapasztalatai

Méréseink szerint a fotovillamos erőmű évente átlagosan 5000 - 6000 kWh elektromos energiát termelt, amelyet visszatápláltunk a hálózatba. A téli hónapokban a termelt energia mennyisége átlagosan 200-300 kWh, míg nyári hónapokban 600-720 kWh. Tavasszal és ősszel a termelt villamos energia mennyisége 250-500 kWh értékek között mozgott havonta.

Az üzemeltetés tapasztalatai:

Kyocera KC 120 w: Jó sugárzás elnyelő képesség, esztétikus

Siemens ST 40w: Könnyű szerelhetőség, kis tömeg (7 kg) jellemzi. Környezeti hatásoknak jól ellenáll.

Dunasolar DS 40w: Sérülékeny, bonyolult szerelhetőség 2 elem megrepedt (gyártási hiba nem szerelési). Teljesítménye elmaradt a megadottól.

4. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **HAGYMÁSSY Z.**, Foto-villamos erőmű megvalósítása a Debreceni Egyetem Műszaki Tanszékén. XII. Országos energiatakarékossági konferencia Sopron-Wels (Ausztria). 2007.
- [2] **Pálffy M.**, Fotovillamos rendszerek. Napenergia a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. Szerk. Farkas I. 2003.
- [3] **POKORÁDI L.**: GEOTERMIKUS REZERVOÁROK MODELLEZÉSE, Műszaki Tudomány az Észak-Alföldi Régióban 2009, (ISBN 978-963-7064-22-7) p.19-24.
- [4] **POKORÁDI L.**: GEOTERMIKUS RENDSZEREK MODELLEZÉSE, kutatási jelentés DE AMTC MK 2008., pp. 50.

SZILÁRDTEST- NYOMDETEKTOR, MINT NYOMJELZŐ

TRACKING WITH SOLID STATE NUCLEAR TRACK DETECTORS

Dr. VARGA Klára

főiskolai docens,
Nyíregyházi Főiskola, 4400 Nyíregyháza, Sóstói u. 32/b.
email:k.varga.123@hotmail.com

Kivonat: Napjainkban sokat foglalkozunk környezetünkkel, annak védelmével. Láthatatlan sugárzások özönében élünk, melyek segíthetik-, gátolhatják mindennapi életünket, befolyásolhatják hangulatunkat, egészségünket. Mivel a természetes sugárzások közel felét a radon és annak radioaktív bomlástermékei alkotják, ezért nagy figyelmet kell fordítani annak megállapítására, hogy mennyire vagyunk kitéve ezek hatásainak, és hogyan lehetne ezeket a hatásokat csökkenteni.

Kulcsszavak: szilárdtest- nyomdetektor, töltött részecskék detektálása, alfa-radioaktivitás

Abstract: We have developed a method to study the gross alpha activity concentration of thermal and different waters. The method is based on applying track etch, (CR-39) alpha autoradiography on solid tablets prepared from the dry mineral residue of these natural waters.

Keywords: alpha activity concentration, track etch,

1. SZILÁRDTEST-NYOMDETEKTOR JELLEMZŐI

A radon és annak radioaktív bomlástermékei vizsgálhatók ún. szilárdtest-nyomdetektorral. Sok olyan szilárd anyag ismert (pl. csillám, műanyag, stb.), amelyben egyszerű eljárással töltött részecskéket detektálhatunk. A besugárzott vékony lemezben, illetve fóliában lefékeződő töltött részecske pályája mentén látens nyomok keletkeznek. Ezek megfelelő maratószer hatására mikroszkóppal látható méretűvé (5-10 μm) nagyíthatók. E detektor a magyar szakirodalomban a *szilárdtest nyomdetektor* nevet kapta. Ezeknek a nyomdetektoroknak a felfedezése az 1950-es években kezdődött, majd a 60-as évek végétől egyre jobban elterjedt az alkalmazásuk. A szilárdtest-nyomdetektorok „felfedezése” és fejlesztése óta egyre szélesebb körben alkalmazzák, pl. magfizikai kísérleteknél, a környezetfizika, a kozmikus sugárzás kutatása során, az űrkutatásban, stb.

1. 1. Nyomkeletkezési modellek

A töltött anyagi részecskék a nyomdetektor anyag szerkezetében lokális, mikroszkópikus tulajdonságváltozásokat hoznak létre. Az anyagok nagyon eltérő fizikai és kémiai tulajdonságai miatt a nyomkialakulás mechanizmusára nincs egységes elmélet. Három különböző elméleti modellt használnak. A három modell az *ionrobbanásos elmélet*, *hőtüske modell*, valamint az *elmozdítási modell*. Csak az ionrobbanásos módszerről szólok néhány szót, mert az alkalmazott detektorra ez jellemző.

A töltött részecske pályája mentén az atomokat ionizálja, így egy pozitív ionokkal töltött szűk csatorna alakul ki. Az ionok az erős elektromos taszítás miatt rövid idő alatt szétrepülnek, valamint maguk is számos iont keltve és helyükről kidobva rácsdefektust hoznak létre. Ez a nyomkeletkezés az *ionrobbanásos (ion explosion spike) módszer* elmélete. [4]

A három elképzelés közül jelenleg a legtöbben a nyomkeletkezés ionrobbanásos elméletét fogadják el, főleg a szervesetlen kristályos detektoranyagokra vonatkozóan.

A legérzékenyebb szilárdtest nyomdetektor anyagok a szerves műanyagok, főleg a cellulóz- és polikarbonát származékok. Ezek képesek az alfa-részecskék nyomait is regisztrálni. Ezekben az anyagokban a nyomképződés magyarázata a következő. *A beeső töltött részecske pályája mentén a hosszú polimer láncokban a kémiai kötések felszakadnak és igen reakcióképes szabad vegyértékek keletkeznek. A radiolitikus bomlási termékek oldódási sebessége nagyobb, mint a károsodást nem szenvedett polimeré.*

1. 2. A nyomüreg kialakulása és a nyomfeltárás lehetőségei

Nyomfeltáráson a pályamenti sugárrombolt tartomány olyan megváltozását értjük, amely a primer, latens nyomot „felerősíti” és stabilizálja, s a kísérleti vizsgálatok számára jól megfigyelhető képződménnyé, szekunder nyommá alakítja. Ilyenek lehetnek például:

- A környező anyagtól optikailag megkülönböztető új fázisú anyagréteg kialakítása a sugárrombolt terület mentén. Pl. a magfizikai emulzióknál alkalmazott nyomelőhívásnál is ezt a technikát használják fel.
- A töltött részecskék által szétrombolt anyagcsatornák elektrondiffrakciót okoznak, és így transzmissziós elektronmikroszkóppal észlelhetők. A módszer hátránya, hogy elvi és technikai okok miatt nem alkalmazható minden detektoranyagnál, nagy nyomsűrűséget kíván, továbbá egyszerre csak kis nyomrészletek vizsgálatára alkalmas.
- A gyakorlati alkalmazások több mint 90 % - ában használt kémiai maratás során a sugárrombolt tartománnyal reakcióba lép a primer nyomba behatoló reagens, és az így kialakuló nyomüreg geometriai méreteit fokozatosan megnöveli. E módszert először 1962-ben alkalmazták, és azóta sok különböző dielektrikumra sikerült többé-kevésbé alkalmas nyommaratószert találni.

A maratási technika sajátosságai: a nyommaratási technika alkalmazásának következtében a szilárdtest nyomdetektorok számos olyan tulajdonsággal rendelkeznek, amelyekkel más típusú nyomdetektornál nem találkozunk. A szilárdtest nyomdetektorok felületi detektorok, mely azt jelenti, hogy – bár primer nyomok a detektor egész térfogatában egyformán létrejöhetnek – kimaratható nyomüregeket közvetlenül csak a detektor felületét átszelő részecskepályák esetében kapunk, ahol a maratószer a sugárrombolt zónákkal reakcióba tud lépni. A maratás még a maratószerrel közvetlenül érintkező felületeket átszelő nyomoknál sem egyformán megy végbe. A szilárdtest nyomdetektorok eltérő környezeti paraméterek között is alkalmazhatók, pl. kozmikus háttérsugárzás, - 40 °C – 80 °C közötti hőmérsékleteken, nagy páratartalom esetén is. Az expozíció és a maratás közötti, hosszú időn keresztül raktározódnak a latens nyomok, az előhívott detektorok pedig megfelelő tárolással tulajdonképpen örökéletűek. A szerves polimerekből készült szilárdtest nyomdetektorok nagyon alkalmasak a környezeti alfa-sugárzással járó jelenségek vizsgálatára, mivel az alfa-részecskékénél kevésbé ionizáló béta, gamma és fénysugárzással szemben gyakorlatilag érzéketlenek. A nyomdetektorok alkalmazása - egyszerűsége, viszonylagos olcsósága, illetve az előbb leírt tulajdonságai miatt- népszerűvé vált az elmúlt 50 évben.

1. 3. Mérési módszer a hévizek össz-alfa aktivitásának meghatározásához

A szilárdtest-nyomdetektor alkalmas vizek alfa-radioaktivitásának meghatározására. Ennek segítségével határoztuk meg a vizek össz-alfa aktivitását. Többféle vízből (folyó-, tó-, tenger-, ivó-, hévíz) vettünk vízmintát, ebből bepárlással (700-750 ml) 400-600 mg szilárd ásványi tartalmat nyertünk (SZA). A kristályos anyagot homogenizáltuk, és 10 mm átmérőjű, kb. 1-1.3 mm vastagságú tablettát préseltünk. A tabletták mindkét oldalára kontakt geometriában,

15X15 mm² –es alfa-érzékeny CR-39-típusú nyomdetektor-lemezt helyeztünk. Az így kapott ún. szendvicseket triplex fóliába lehetőleg légmentesen lehegesztve szobahőmérsékleten exponáltuk. Az expozíciós idő lejárta után (40-150 nap) a szendvicseket szétszedtük, és a nyomdetektor-lemezeket 20 %-os NaOH oldatban, 70 °C-on 5 óráig marattuk. A kémiai maratással létrehozott nyomüregek optikai mikroszkóppal jól észlelhetők és számolhatók voltak. A tablettákra helyezett mindkét nyomdetektor-lemezen leszámoltuk az alfa-részecskék által hagyott nyomokat és abból számoltuk a nyomsűrűséget. [5]

A tabletták össz-alfa radioaktivitását az alábbi összefüggésből számoltuk:

$$c_{\alpha\text{SZA}} = \frac{\rho [\alpha \text{ nyom/cm}^2]}{T_{\text{exp}} R_{\alpha} / 4 \cos \theta_c} \quad (1)$$

ahol:

R_{α} - 4 mg/ cm², átlagos hatótávolság;

θ_c - 21°, a detektálás kritikus szöge;

ρ - nyomsűrűség;

T_{exp} - expozíciós idő másodpercben kifejezve.

A vízminta össz-alfa aktivitása a szilárd tabletták specifikus aktivitásának ($c_{\alpha\text{SZA}}$) és a minták szárazanyagtartalmának (SZA) szorzata:

$$c_{\alpha\text{víz}} [\text{Bq/l}] = c_{\alpha\text{SZA}} [\text{Bq/mg}] \cdot \text{SZA} [\text{mg/l}] \quad [6] \quad (2)$$

1. 4. Mérési eredmények

Mint említettem munkánk során sokféle víz össz-alfa aktivitását vizsgáltuk. Az elfogadott nemzetközi határérték a vizek radon-tartalmára ~ 1000 Bq/l.

A földfelszín alól feltörő, illetve kitermelt vizek által hordozott alfa-radioaktivitás általában két összetevőtől származik: a vízben oldott, a geológiai környezetben felvett ²²²Rn - től, illetve a vízben oldott ásványi anyagok hosszú felezési idejű alfa-radioaktív elemeitől. Ezek az ²³⁸U és ²³²Th bomlási sorokhoz tartozó alfa-aktív elemek lehetnek. Közülük az ²³⁸U bomlási sorában található ²²⁶Ra-nak kiemelkedő jelentősége lehet, amely a geológiai környezetből vett vízmintában is állandóan „termeli” a ²²²Rn-t.

A vízmintákat Szabolcs-Szatmár-Bereg és Hajdú-Bihar megyéből, Ukrajnából, valamint az Atlanti-óceánból gyűjtöttük.

Azon hévíz kutak többsége, ahonnan a vízminták valók, strandok meleg vízellátását szolgálja, néhány helyen viszont ezen energiaforrást üvegházak, fóliasátrak fűtésére is használják. A forrásvizek pedig ásványvizek, ezeket fogyasztják a turisták. [7]

Az 1. táblázatban néhány vízminta származási helyét és a vízminták számolt össz – alfa radioaktivitását foglaltam össze.

A vizsgált vízminták különböző talpmélységű, vízhőmérsékletű kutakból, talajból feltörő forrásokból, valamint óceánból valók. Ezek a tényezők befolyásolják a víz össz – alfa aktivitását. Ezt mutatja a 2. táblázat.

A táblázat adataiból látható, hogy általában nagyobb mélységben a vízhőmérséklet magasabb. Ez adódhat a Föld belsejéből eredő hőszállításból, radioaktív folyamatokból, esetleg vegyi átalakulásokból. A felszín alatti vizek hőmérséklete függ a vizet tartalmazó kőzet hővezető-képességétől is.

Víz származási helye	Víz össz-alfa-aktivitása (Bq/m ³)
Nyíregyháza – Sóstó	243 ± 9.7
Nyíregyháza - Uszoda	372 ± 23
Gergelyiugornya - Fürdő	309 ± 13.1
Baktalórántháza - Fürdő	10 ± 1.1
Fehérgyarmat - Fürdő	67 ± 4.4
Tiszavasvári - Fürdő	1552 ± 91
Debrecen - Fürdő	70 ± 5.1
Földes	4172 ± 219
Hajdúszoboszló - Fürdő	129 ± 14.4
Nagyrábé	8.1 ± 1.5
Nádudvar	12.3 ± 2.5
Hajdúnánás - Fürdő	736 ± 45.3
Szolocsin	389 ± 12.8
Luzsanka I. (forrás)	455 ± 19.1
Luzsanka II. (forrás)	750 ± 26.8
Poljana (forrás)	837 ± 29.3
Zakarpattya (forrás)	874 ± 33.4
Atlanti - óceán	437 ± 21.1
Homoród	54 ± 2.2

1. Táblázat Vizek származási helye – vízminta össz – alfa aktivitása [7]

Matematikai összefüggés nem figyelhető meg a talpmélység és az alfa-aktivitás, illetve a hőmérséklet és az alfa-aktivitás között.

Víz származási helye	Talpmélység (m)	Vízhőm. (°C)	Víz össz-alfa-aktivitása (Bq/m ³)
Nyíregyháza Sóstó	998	50	243 ± 9.7
Nyíregyháza Uszoda	900	48	372 ± 23
Gergelyiugornya	945	54	309 ± 13.1
Baktalórántháza	862	45	10 ± 1.1
Fehérgyarmat	1005	47	67 ± 4.4
Tiszavasvári	1200	67	1552 ± 91
Debrecen	986	62	70 ± 5.1
Földes	1344	66	4172 ± 219
Hajdúszoboszló	1000	70	129 ± 14.4
Nagyrábé	1100	46	8.1 ± 1.5
Nádudvar	600	41	12.3 ± 2.5
Hajdúnánás	1019	67	736 ± 45.3

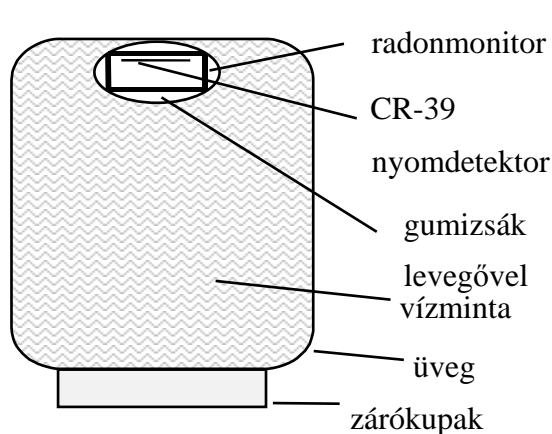
2. Táblázat A vizsgált kutak fizikai adatai [7]

2. HÉVIZEK ^{222}Rn -TARTALMÁNAK MEGHATÁROZÁSA

Méréseinket Egerben a Hotel Flóra szálloda fürdőmedencéiben és az ezeket tápláló József-forrás vizében végeztük.

A forrás vizének ^{222}Rn – tartalom mérése a gépházba beérkező csőre szerelt mintavevő csapból vett mintákból történt. A medencék esetén több helyről vettünk mintát: a medencébe beömlő – nyílások fölött kb. 10 cm magasságban, a medence közepén és a medence másik szélén, a vízfelszín alatt kb. 50 cm mélyről. A medencék vízforgatók voltak. A vízforgató rendszerben és a medencékben egyszerre kb. 90 m^3 víz van, a két medence összterfoglata 76 m^3 . A József – forrásból naponta 8 m^3 vizet táplálnak a rendszerbe. [3]

A vízminták oldott ^{222}Rn -tartalmának mérését marattnyom-detektoros módszerrel végeztük. A technikát az MTA Atommagkutató Intézet Radon Csoportjának munkatársai [1] dolgozták ki és a kalibrációt is ők végezték el. Az 1. a. ábra mutatja a mérési összeállítást, az 1. b. ábra pedig az előkészített vízmintákat.



1. a. ábra Az alkalmazott mérési összeállítás [2] 1. b. ábra Az előkészített vízminták [1]

A 3. táblázatban a József – forrásban és a medencék vizében számolt oldott ^{222}Rn -gáz aktivitáskoncentrációt foglaltam össze.

A mintavétel helye		Oldott ^{222}Rn -gáz aktivitáskoncentráció [kBq m^{-3}]
József – forrás Gépházban a bejövő csőre szerelt csap		67.2 ± 4.7
Kisebbik medence	vízbelépési hely	16.5 ± 0.9
	medence közepe	7.9 ± 0.4
Nagyobbik medence	1. vízbelépési hely	15.2 ± 0.5
	2. vízbelépési hely	9.1 ± 0.5
Nagyobbik medence	belső széle	8.6 ± 0.5
	középen	6.4 ± 0.4
	külső széle	7.3 ± 0.4

3. Táblázat A Hotel Flóra szálloda József-forrásának és a fürdőmedencék vizeinek oldott ^{222}Rn -aktivitáskoncentrációja [3]

A táblázat eredményei azt mutatják, hogy a forrás Rn-tartalma jóval magasabb, mint a medencék vizének Rn-tartalma. Ennek oka az, hogy a ^{222}Rn -gáz párolog a medencék vizéből, valamint hogy a medence vize és fölötte a légtér levegője állandó keveredésben van. Eredményeink kiértékelése, következtetéseink megállapítása jelenleg is folyik.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

A szilárdtest-nyomdetektorok kémiai és fizikai tulajdonságaik alapján alkalmasak töltött részecskék detektálására. CR-39 alfa-érzékeny nyomdetektor lemezt alkalmazva meghatározható a talaj-, a levegő- és a víz össz-alfa aktivitása, radon- és rádium tartalma.

FELHASZNÁLT IRODALOM:

- [1] **BARADÁCS E., HUNYADI I., CSIGE I., DEZSŐ Z.**(2002): Vízminták ^{226}Ra és ^{222}Rn -tartalmának meghatározására szolgáló maratnyom-detektoros eljárás kalibrálása. Magyar Kémiai Folyóirat, 108, pp. 421-428,
- [2] **CSIGE I. AND CSEGZI S.** (2001): The Radamon radon detector and an example of application. Radiation Measurements, 34 (1-6), pp. 437-440,
- [3] **CSIGE I., LÉNÁRT L., HAKL J., BARADÁCS E., HUNYADI I., SZERBIN P., VAUPOTIC J., VARGA K.:** A ^{222}Rn -gáz útjának nyomon követése a forrásoktól a külső környezetbe való kibocsátásig gyógyfürdőben. Környezettudományi Konferencia közleményei. Kolozsvár, Románia, 2006. március 17-18. Szerk.: Mócsi I., Nédá T. Kolozsvár, Scientia Kiadó **0** (2006) 275-281
- [4] **KISS D., KAJCSOS Zs.:** Nukleáris technika Tankönyvkiadó Budapest, 1984.
- [5] **K. VARGA, I. HUNYADI, J. HAKL, I. UZONYI AND J. BACSÓ:** GROSS ALFA RADIOACTIVITY AND CHEMICAL TRACE ELEMENT CONTENT OF THERMAL WATERS MEASURED BY SSNTD AND XRF METHODS Radiation Measurements, Vol. 25, Nos 1-4, pp. 577-580, 1995.
- [6] **SOMOGYI G.:** Methods for measuring radium isotopes. Trac detection The environmental Behaviour of Radium Tech. Rep. Ser. No 310, Vol.1. 229-256. IAEA Vienna 1990.
- [7] **VARGA KLÁRA:** A Szabolcs – Szatmár – Bereg megyei termálvizek össz-alfa radioaktivitásának és oldott Ra-tartalmának mérése Természetudományi Közlemények, Nyíregyházi Főiskola TTFK, 2002

A SZÁNTÓFÖLDI PERMETEZŐGÉPEK KERETLENGÉSÉNEK MÉRSÉKLÉSÉT MEGALAPOZÓ VIZSGÁLATOK

PRIMER EXPERIMENTS ON REDUCTION OF FRAME OSCILLATION OF FIELD SPRAYERS

**Dr. KALMÁR Imre¹ – Dr. KALMÁRNÉ Dr. VASS Eszter¹ – NAGY Valéria² –
Dr. GRASSELLI Gábor³ – Dr. SZENDREI János³**

főiskolai tanár – főiskolai tanár – főiskolai adjunktus – egyetemi docens – tudományos munkatárs
kalmi@mfk.hu; kalveszti@gmail.com; valinagy@mfk.hu; grasselli@agr.unideb.hu, szendrei@agr.unideb.hu

¹Nyíregyházi Főiskola, Nyíregyháza Sóstói u. 31/b.; ²Szolnoki Főiskola, Mezőtúr Petőfi tér 1.; ³

Debreceni Egyetem, Debrecen Böszörményi út 138.

Kivonat: A szántóföldi permetezőgépeken a területteljesítmény növelése a munkaszélesség, illetve az azt meghatározó permetezőgép szórókeret szélesség növelésével érhető el. A keretméretek növelésének egyrészt szilárdsági határai vannak, másrészt a keretlengések erősen befolyásolják a szórás egyenletességet, illetve a célfelületi fedettséget. A keretlengések csökkentésével egyenletesebbé tehető a célfelületi permetlerakódás, ami csökkentett hatóanyag kijuttatás mellett is lehetőséget biztosít hatékony növényvédelemre. A „Baross-2-2007-0026” számú Baross Gábor pályázatunk célja egy olyan új konstrukciós kialakítású szántóföldi permetezőgép szórókeret kifejlesztése, illetve prototípusának elkészítése, amely a keretlengések minimalizálása által kedvezőbb munkaminőségi jellemzőket eredményez a gyakorlatban elterjedten alkalmazott növényvédőgépekhez képest. A projekt keretében mérőrendszert alakítottunk ki a keretlengések modellezéséhez, illetve laboratóriumi és szántóföldi kísérleteket végeztünk.

Kulcsszavak: permetezés, permetfedettség, keretlengések.

Abstract: It can be realized enhancing of the field capacity by extending of work width through extending of width of sprayer frame of the field sprayers. On the other hand there are static limits to extend sizes of the frame and the other hand the frame oscillations influence the steadiness of standard deviation and the coverage of target surface. It can be done steadily the accumulation on the target surface by alleviation of frame oscillations. This provides efficient plant protection next to the application of reduced of pesticide. The objection of Gábor Baross project (“Baross-2-2007-0026”) to develop a new construction field sprayer frame and to make its prototype that will result in more favourable work quality characteristics by minimizing of the frame oscillations compared to plant protector machines that they are applied in the practice. In the frame of the project we made a measuring system to model the frame oscillation and we made laboratory and field experiments.

Keywords: spray, spray coverage, frame oscillation

BEVEZETÉS

Szántóföldi permetezéskor a célfelületet elkerülő növényvédőszer kijuttatással a szükségszerűnél nagyobb mértékű környezetterhelést okozunk. A növényvédőszer használati utasításaiban a gyártók a kedvezőtlen kijuttatási körülményekhez tartozó kijuttatandó hatóanyag dózist tüntetik. A növényvédőszer gyártóknak és kereskedőknek ez nagyobb forgalmat, kisebb kockázatot, a felhasználóknak nagyobb költséget és mindnyájunknak pedig indokolatlan környezetterhelést is jelent [BALÁZS – DIMITRIEVITS – RUTTKAY, 1984].

Szántóföldi permetezéskor a szórókeret lengések negatívan befolyásolják a fedettségi jellemzők alakulását. A keretlengések csökkentésével egyenletesebbé tehető a célfelületi permetlerakódás, amely csökkentett hatóanyag kijuttatás mellett is lehetőséget biztosít a hatékony növényvédelemre. [DIMITRIEVITS – GULYÁS – KOVÁCS – KALMÁR, 2006.]

A Baross-2-2007-0026 számú „Növényvédőszer megtakarítást lehetővé tevő permetezőgép

fejlesztése és prototípus előállítás” című Baross Gábor pályázat benyújtásával a Farmgép Kft. vezetésével, valamint a Szolnoki Főiskola és a Debreceni Regionális Gazdaságfejlesztési Alapítvány közreműködésével létrehozott konzorcium a fenti problémára keresi a megoldást. A projekt célkitűzése egy olyan újszerű szántóföldi permetezőgép szórókeret kifejlesztése, és prototípusának elkészítése, amely a keretlengések minimalizálása által kedvezőbb munkaminőségi jellemzőket eredményez a gyakorlatban elterjedten alkalmazott növényvédőgépekhez képest.

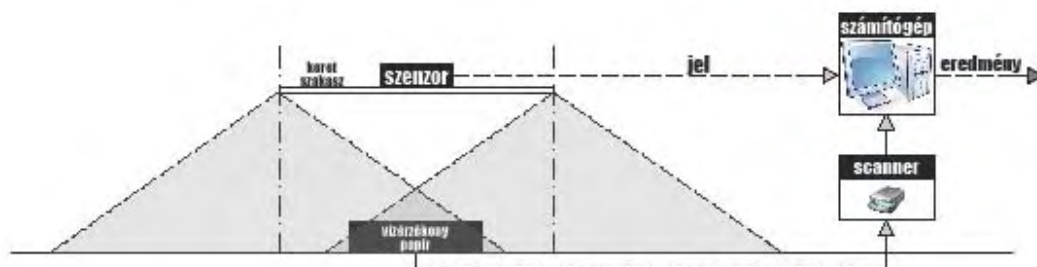
1. AZ EGYENLETES FEDETTSÉG BIZTOSÍTÁSÁNAK PERMETEZÉS-TECHNIKAI ALAPJAI

Alkalmazástechnikai szempontból a szántóföldi permetezéskor megoldandó műszaki technikai feladat: a kártétel megelőzéséhez szükséges minimális mennyiségű hatóanyag célfelületre juttatása. [KALMÁR, 2008.]; [KALMÁR, 2009.]. A célfelület jellemzően a szántóföldi növények levélzetét jelenti, ahol megjelenhetnek a kórokozók és a kártevők. A szántóföldi állománypermetezés tehát olyan folyadék kijuttatási feladatot jelent, ahol nagy kiterjedésű x - y síkkal (táblaméret) és kis mélységgel (növénymagasság) jellemezhető térben elhelyezkedő növényi levélzetre kell eljuttatni vizes oldatként a levegőbe porlasztott hatóanyagot [KALMÁR – KALMÁRNÉ – NAGY – GRASSELLI, 2010]. A szántóföldi állománypermetezés absztrahált műszaki technikai feladata tehát x - y síkkal párhuzamos vonalszakasz mentén egyenletes cseppeket eredményező folyadékkijuttatás, és az y tengellyel párhuzamos mozgatás által egyenletesen lefedni egy adott síkfelületet. A szántóföldi állománypermetezéskor az egyenlő síkbeli fedettséget az állandó kijuttatott permetlé dózis jelenti. A fejlesztés tárgyát képező szórókeret teljes dinamikai modelljének leírásával és a megvalósíthatósági elemzéssel az adott előállítási költségshoz és összetettségi szinthez tartozó minimális keretlengést eredményező modellváltozatot kívánjuk megvalósítani.

2. A KERETLENGÉSEK MÉRSÉKLÉSÉT MEGALAPOZÓ LABORATÓRIUMI MÉRÉSEK

Az alkalmazott mérési módszer

A keretlengések és a permetezőgép munkaminősége közötti összefüggések feltárásának módszerei alapvetően a mozgásérzékelésből, mozgásérzékelési alapadatok feldolgozásából, egyes permetfedettségi jellemzők méréséből, többi permetfedettségi jellemző meghatározásából, valamint a mozgási adatok és a sebességi értékek összefüggéseinek feltárásából állnak. A kialakított mérőrendszer vázlata az 1. ábrán látható.



1. ábra A mérőrendszer vázlata

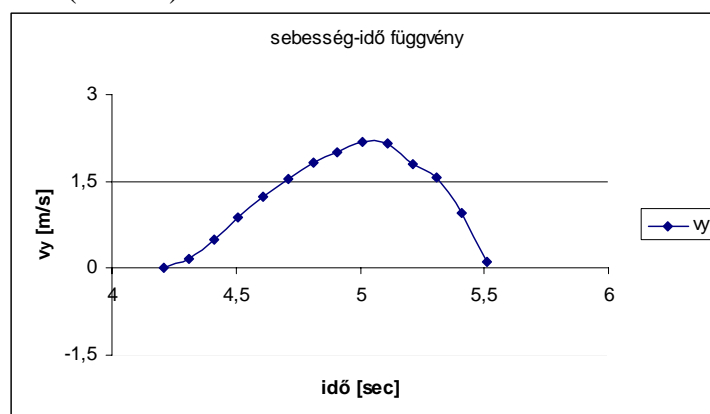
A keretszakasz mozgás jellemzőit mozgásérzékelő segítségével rögzítjük, az érzékelt és továbbított adatokat egy számítógép gyűjti. Az adatgyűjtés t_i időadatokhoz tartozó x_i , y_i , z_i

gyorsulás értékekre vonatkozik. A változó haladási sebességgel mozgatott keretszakasz alá egymástól meghatározott távolságban helyezünk ki vízérzékeny tesztpapírokat. A mozgásérzékelőkről érkezett jelek gyorsulásadatokká való konvertálása után a $v = \int a(t) dt$ és az $s = \int \int a(t) dt dt$ összefüggések alapján numerikusintegrálást alkalmazva a valós pillanatnyi sebesség és a megtett út (koordináta) értékek meghatározhatók. A pillanatnyi elmozdulás y és v_y adatokhoz pedig egyértelműen hozzárendelhetők az egyes pályakoordinátákhoz tartozó vízérzékeny lapokból meghatározott fedettségi jellemzők.

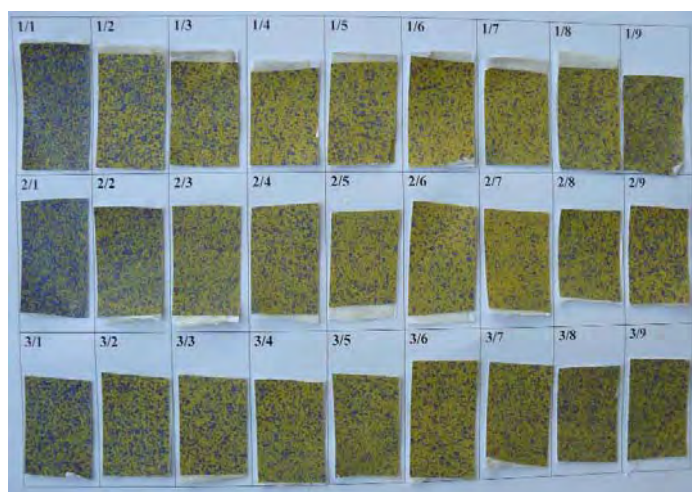
A permetezés hatására elszíneződött tesztlapok fedettségi jellemzőinek meghatározása számítógépes képfeldolgozó rendszer segítségével történik. Az egyes mintákhoz tartozó fedettség-értékek alapján minden ismert koordinátájú ponthoz hozzárendelhetők az ismert pályairányú sebesség és fedettségi értékek is.

A mérőrendszer laboratóriumi ellenőrzése

A laboratóriumi vizsgálat célja annak a megállapítása volt, hogy a kifejlesztett mozgásérzékelő és adatgyűjtő rendszer alkalmas-e arra, hogy az általa feldolgozott adatok segítségével következtetéseket vonjunk le egy változó sebességgel haladó szórókeret mozgási jellemzői és az adott szórócső szakaszon egyenletesen kijuttatott folyadékmennyiség által létrehozott fedettségi jellemzők között. Az elvégzett permetezési próbák során három mérési sorozatot készítettünk. A mért gyorsulás értékek alapján készített $v(t)_y$ görbe alapján megállapítható, hogy a mozgató mechanizmus képes volt a szórókeretszakasz változó sebességű mozgatására (2. ábra).



2. ábra A keretszakasz pályairányú sebességének változása (1. sorozat)



3. ábra Érzékelhető fedettségi különbségek

A permetezési munkaművelet elemzésekor már a vízérzékeny lapokon vizuálisan is jól érzékelhetők voltak az egyes mérési pontokon a fedettségi különbségek (3. ábra). A laboratóriumi fedettségvizsgálati eredményeket a 1. táblázat tartalmazza.

<i>Minta</i>	<i>Pillanatnyi sebesség [m/s]</i>	<i>Fedettség [%]</i>	<i>Fajlagos cseppszám [db/cm²]</i>
1_1	0,45	51,8	161,6
1_2	1,20	38,3	144,1
1_3	1,59	34,4	167,3
1_4	1,87	22,4	124,9
1_5	2,05	27,9	136,9
1_6	2,20	21,0	108,6
1_7	2,17	22,7	140,5
1_8	1,77	30,8	158,4
1_9	1,25	30,7	190,3

1. táblázat A pályairányú sebességek és a fedettségi jellemzők alakulása a mérési pontokban

Megállapítható, hogy a vizuálisan érzékelt fedettséghez hasonlóan a magasabb fedettségi értékek az alacsonyabb haladási sebességhez tartoznak.

3. A SZABADFÖLDI MÉRÉSEK ELVÉGZÉSE ÉS EREDMÉNYEI

A laboratóriumi mérések során alkalmazott mérési módszert a szabadföldi körülményekhez kellett illeszteni. A vizsgálati célkitűzés: a szántóföldi permetezőgépek üzemeltetése közben tapasztalható keretlengések és az azonos permetlé dózis kijuttatás mellett tapasztalható fedettségi jellemzőkben bekövetkező változások közötti összefüggés megállapítása volt.

A vizsgálatok során a gép középvonalától meghatározott távolságokban, haladási irányban, egyenes vonalban 0,5 m-enként egyedi azonosító jellel ellátott, vízre érzékeny papírt helyeztünk ki. A tesztpapírokat a beállított üzemi paraméterek mellett tiszta vízzel lepermeteztük, teljes száradás után összegyűjtöttük, majd a mintákat magas felbontású, digitális kamerával történő lefényképezést követően elektronikus formátumban rögzítettük és National Instruments LabVIEW szímképelemző szoftver segítségével meghatároztuk a relatív fedettség (%), illetve a fajlagos cseppszám (db/cm²) értékeit.

A vizsgálatok körülményei

A vizsgálatokat 3000/24 típusú, (TeeJet XR 110 03 VP fúvókákkal) Kertitox Fullspray, permetezőgéppel végeztük el Debrecen határában egyenlőtlen felszínű legelőterületen. Két mérés sorozatot hajtottunk végre: 2 m/s, ill. 3 m/s a munkasebességgel. A fajlagos szórásmennyiség mindkét sorozat esetében 160 dm³/ha volt. A vizsgálat idején mért időjárási jellemzők: hőmérséklet 12 °C, szélesebbesség max. 1,43 m/s.

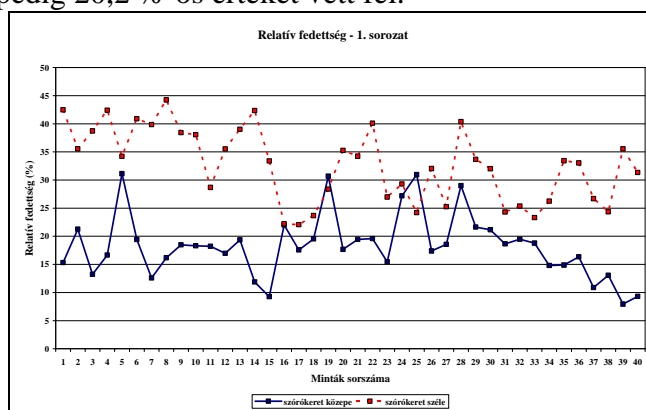
A szabadföldi vizsgálat és adatgyűjtés elvégzése

A mérőrendszer részét képező jeladót a vizsgálandó keret végpontja közelében a keretvég alá kihelyezett vízérzékeny tesztlapok fölött rögzítettük, az adatgyűjtőt pedig a vontató erőgép fülkájában helyeztük el. A permetezőgép álló helyzetből történő működtetését követően a gyorsítási szakasz után lepermeteztük a kihelyezett tesztlapokat és közben rögzítettük a

permetezőgép keretlengéseinek pillanatnyi paramétereit. A tesztlapok száradása után begyűjtöttük azokat és elvégeztük a víz hatására elszíneződött lapok laboratóriumi fedettségi vizsgálatát.

A permetfedettségi jellemzők laboratóriumi vizsgálata

Az első mintasorozatnál (munkasebesség 2 m/s) a szórókeret közepénél, illetve szélén kapott fedettségi értékek alakulása az 4. számú ábrán láthatók. A szórókeret középső részén a fedettségi értékek 8 % és 31 % között változtak, az átlagos relatív fedettség 18,3 % volt, az adatok variációs együtthatója pedig 30,7 %-ra adódott. A szórókeret szélénél elhelyezett minták esetében a fedettség értéke 22-44 % között változott, az átlagos érték 32,7 % volt, a variációs együttható pedig 20,2 %-os értéket vett fel.

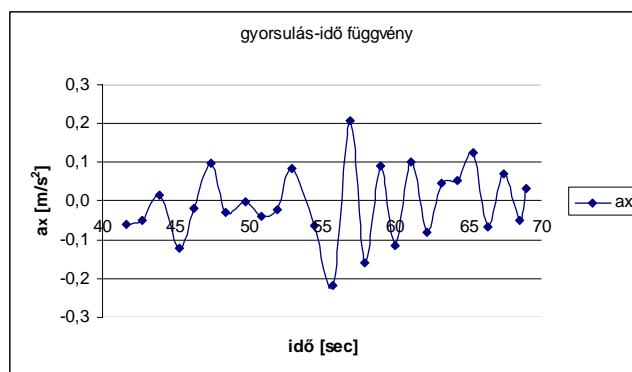


4. ábra Relatív fedettség (1. sorozat)

A 3 m/s munkasebességgel végzett permetezésnél a szórókeret középső részénél 5-17 % közötti relatív fedettség értékeket kaptunk, amelyek átlaga 9,2 %, a variációs együttható értéke pedig 26,6 % volt. A szórókeret szélénél elhelyezett mintákon 13-43 % közötti fedettség volt kimutatható. Ezeknek az értékeknek az átlaga 23,5 %, a variációs együttható pedig 28,7 %.

A keretlengés vizsgálati eredmények számítógépes elemzése

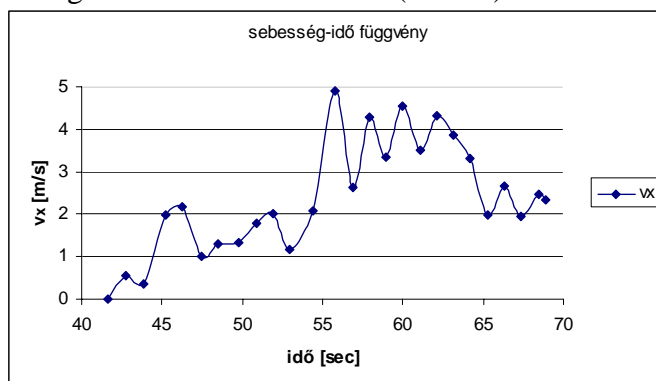
A keretlengések dinamikai elemzéséhez szükség van a szórókeret egyes pontjai mozgási jellemzőinek ismeretére. Az 5. ábrán a keretszakasz 1 jel/s sűrűségű adataiból származtatott pályairányú gyorsulásértékek vannak feltüntetve a kijelölt mérési hosszon.



5. ábra. A szórókeret végpontja pályairányú gyorsulásának változása

A szakirodalmi adatok és a saját próbapadi modellvizsgálatok eredményei is azt igazolták, hogy a haladási sebesség befolyásolja a permetezési jellemzők alakulását. A permetezőgép

beállított haladási sebessége a permetezésszabályzó automatika szerint 2m/s volt, a mozgásérzékelőből származtatott jelek alapján azonban a keretvégek ehhez képest közel 5 m/s-os pillanatnyi sebességértékkel is rendelkeztek (6. ábra).



6. ábra. A szórókeret végpontja pályairányú sebességének változása

A laboratóriumi vizsgálati eredmények egyértelműen igazolták a pillanatnyi pályairányú mozgási sebesség és az egyes pontokhoz tartozó fedettségi jellemzők közötti összefüggéseket. Az elvégzett szabadföldi vizsgálat a kifejlesztett mérőrendszer szántóföldi körülmények közötti alkalmazhatóságát is igazolta, azonban a teljeskörű dinamikai modellalkotáshoz, a prototípus elkészítéséhez további mérésekre van szükség.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A kifejlesztett mérőrendszerről a laboratóriumi vizsgálata alapján megállapítható, hogy a mérőrendszer alkalmas térbeli mozgó pont mozgási adatainak gyűjtésére, továbbítására és tovább-feldolgozására. A permetezőkeret adott pontjainak pillanatnyi mozgásállapota és a keret működtetését követően érzékelt és számított fedettségi jellemzők közötti összefüggések feltárásához megfelelő adatokat tud szolgáltatni a kifejlesztett mérőrendszer. A laboratóriumi kísérleti mérőrendszer a mozgásérzékelők számának növelésével és az adatgyűjtő és feldolgozó szoftver továbbfejlesztésével szántóföldi mérések végzésére alkalmassá tehető. 2010. első félévében még több szántóföldi adatsor felvétele, elemzése után kerülhet sor a csökkentett lengésű szórókeret dinamikai modelljének kialakítására és az alapján a kísérleti példány és a prototípus tervdokumentációinak elkészítésére és legyártására.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BALÁZS F. – DIMITRIEVITS GY. – RUTTKAY P.: A növényvédő gépek üzemeltetése. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest 1984.
- [2] DIMITRIEVITS GY. – GULYÁS Z. – KOVÁCS L. – KALMÁR I.: Anyagtakarékos permetezőgépek vizsgálatának eredményei. XXX. MTA AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozása, Gödöllő 2006. p 25-29
- [3] KALMÁR, IMRE: Experiments with plant sensor on pesticide reduction in cherry plantation. IAMFE Proceedings of 13th World Conference on Mechanization of Field Experiments, Denmark 2008. p 72-75
- [4] KALMÁR IMRE: A különböző műszaki-technikai megoldásokban rejlő növényvédő szer megtakarítási lehetőségek kísérleti igazolása. Műszaki Tudományok az Észak-alföldi Régióban, 2009. p 135-142
- [5] KALMÁR IMRE – KALMÁRNÉ VASS ESZTER – NAGY VALÉRIA – GRASSELLI GÁBOR: Próbadadi mérések a keretlengések és a permetfedettségi jellemzők közötti összefüggések demonstrálásához. VI. Kárpátmedencei Környezettudományi Konferencia. Nyíregyháza, 2010.

KÖRNYEZETI TRANSZPORT FOLYAMATOK MODELLEZÉSE

MODELING OF ENVIRONMENTAL TRANSPORT PROCESSES

Dr. GULYÁS Lajos

főiskolai tanár
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar
lgulyas@mk.unideb.hu

Kivonat: A környezeti transzport folyamatok jelentős része kapcsolatban van a levegő és víz áramlásával. Az anyag transzport advektív-, konduktív-, átadási áram és kémiai reakció formájában jelenik meg. Ezeket az áramokat a transzport egyenletek írják le. A transzport egyenletek alapja az anyag megmaradás törvénye. A transzport törvénynek van egy fluxussal kifejezett formája (tömeg vagy komponens áram per egységnyi felület), ami arányos a hajtóerővel (koncentráció gradienssel vagy koncentráció különbséggel). Először, a klasszikus kontinuitás egyenletet Damköhler kiegészítette az advektív- és forrás tagokkal, majd Benedek és László az átadási taggal, és megkapták az általános transzport egyenletet. A környezeti transzport folyamatokra egy osztályozási lehetőséget adunk az általános transzport egyenlet alapján.

Kulcsszavak: Környezeti transzport folyamatok, Transzport egyenletek, Advektió, konduktió és átadási áram.

Abstract: A large part of environmental transport processes are in connection with the flow of air and water. These transport processes take place with advection-, conduction- and transfer stream and chemical reactions too. These streams can be described by transport equation of mass or component. The base of the transport equation is the principle of conservation of mass. The transport law has the form of flux (mass or component rate per unit area) being proportional to the driving force (a gradient or difference in concentration). First, the classical continuity equation was extended by Damköhler with the terms of advection and source, later by Benedek and László with the term of transfer stream and they got the general transport equation. A classification possibility is given by the general transport equation for the environmental transport processes.

Keywords: Environmental transport processes, Transport equations, Advection, conduction and transfer stream.

1. BEVEZETÉS

Transzport folyamaton valamilyen extenzív mennyiségnek, a tömegnek (kg), az anyagnak (mol), a hőnek (J) és az impulzusnak (kgm/s) időbeli- és/vagy térbeli változását értjük, és a folyamatot az említett mennyiségek áramaival- illetve áramsűrűségeivel jellemezzük. A környezetben mind a négy mennyiség transzportja jelen van.

Közleményünkben az anyag transzport matematikai modelljeivel, valamint a modellek csoportosításával foglalkozunk. A környezeti transzport folyamatok levegőben, vízben (felszíni- és talajvíz) valamint talajban játszódnak le.

A környezeti transzport folyamatokat alapvetően két csoportba sorolhatjuk. Egyrészt a környezetben eleve jelen levő anyagok transzportja, a levegő és a víz, komponenseikkel együtt, másrészt a levegőbe, a vízbe és a talajba került kémiai anyagok transzportja.

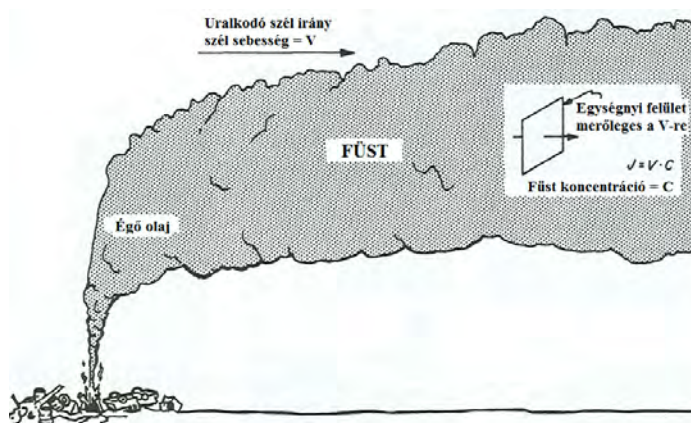
2. TRANSZPORT FOLYAMATOK ÁRAMFORMÁI

Anyagtranszport az áram mechanizmusa szerint lehet advektív-, konduktív- vagy átadási áram, ezen kívül a környezetben jelen levő vagy odakerült anyagok kémiai reakcióba is léphetnek.

2.1. Advektív anyagáram

Az advektív anyagáramot egy külső erő hatására bekövetkező fluidum áramlása hozza létre. A szél és a folyó térfogatáramukkal viszik magukkal komponenseiket mintegy anyaghoz kötötten. Az 1. ábra egy égő olajkút füstcsóvját mutatja [1]. Ha elképzelünk egy egységnyi A (m^2) felületet az áramlás irányára merőlegesen, akkor az egységnyi felületen időegység alatt átáramlott füst mennyisége, azaz a füst J (kg/m^2s) áramsűrűsége a füst C ($kg_{füst}/m^3$) koncentrációjának és a szél V (m/s) áramlási sebességének szorzata. Tehát az advektív komponens áramsűrűsége megkapjuk, ha a fluidum koncentrációját megszorozzuk a fluidum átlagos áramlási sebességével:

$$J = CV \quad (1)$$

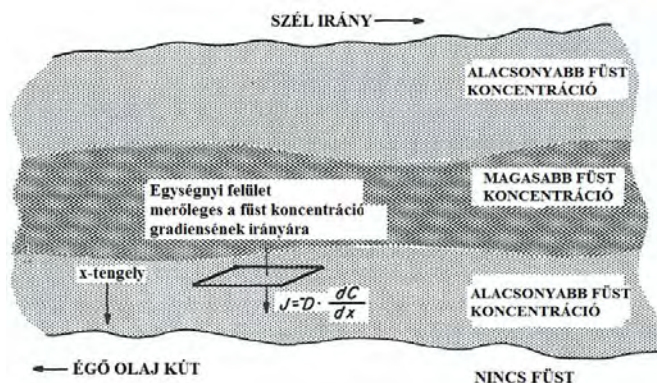


1. ábra Advektív anyag transzport [1]

Vagy például, ha egy folyó só koncentrációja 20 g/m^3 és a folyó átlagos áramlási sebessége 1 m/s , akkor a só áramsűrűsége $J = CV = 20 \text{ g/m}^3 \times 1 \text{ m/s} = 20 \text{ g/m}^2\text{s}$.

2.2. Konduktív anyagáram

A vezetékes vagy konduktív anyagáram a fázison belül megy végbe, és a fázison belüli koncentráció inhomogenitása okozza. Tekintsük a fenti füstcsóván belüli koncentráció eloszlását a 2. ábrán.



2. ábra Konduktív anyag transzport [1]

Képzeljünk el egy egységnyi felületet a koncentráció gradiens irányára merőlegesen, akkor Fick törvény értelmében füst áramsűrűsége arányos a füst koncentráció negatív gradiensevel a $-dC/dx$ -szel, és a D (m^2/s) arányossági tényezőt, diffúziós állandónak nevezzük:

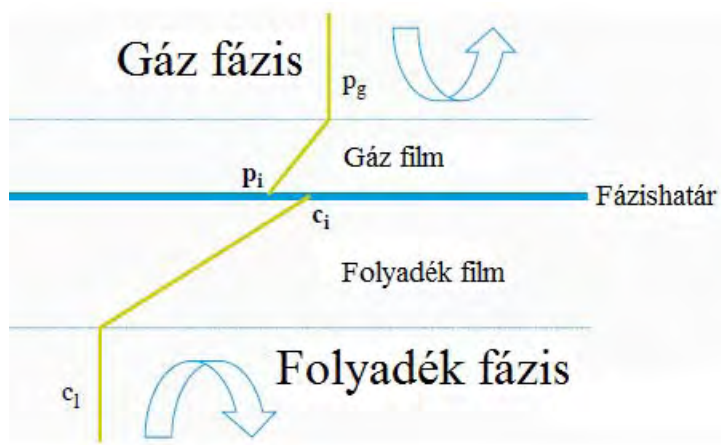
$$J = -D \frac{dC}{dx} \quad (2)$$

A komponensek diffúziós állandóinak értéke molekuláris diffúzió esetében vízben $\sim 10^{-9} m^2/s$, illetve levegőben $\sim 2 \times 10^{-5} m^2/s$ nagyságrendűek, a turbulens diffúzió vagy a diszperzió értékei ezeknél nagyságrendekkel nagyobbak.

2.3. Átadási anyagáram

A fázisok közötti komponens transzport egy harmadik mechanizmussal, az úgynevezett *átadással* megy végbe. Például a víz és a levegő fázishatárán, párolgással vízmolekulák mennek át a folyadékfázisból a gázfázisba, vagy a levegőből oxigén, széndioxid oldódik vízben, vagy a talaj száradása, stb.

Az advektív és diffúziós komponens áramot leíró összefüggések csak a fázishatárig érvényesek. A fázisok határán bonyolult viszonyok uralkodnak. A fázishatár környezetében a koncentráció gyorsan változik. A fázishatáron koncentrációt leíró függvénynek törése, sőt szakadása is van, így a koncentráció változását folytonos függvénnyel nem tudjuk megadni. Képzeljünk el egy gáz-folyadék fázis határfelületén a folyadékfázisban oldódó, gázfázis egy komponensének koncentráció változását a 3. ábra szerint. A gázfázisban a kérdéses komponens koncentrációja a parciális nyomással is egyértelműen megadható.



3. ábra Átadási anyagáram

Az átadási áram leírására egy tapasztalati összefüggést hoztak létre. A tapasztalat azt mutatja, hogy az átadási áram arányos az A átadási felülettel, a ΔC (mol/m^3 vagy kg/m^3) hajtóerővel és a β (m/s) komponens átadási tényezővel. Mindezek alapján az átadási áramsűrűség:

$$J = \beta \Delta C \quad (3)$$

Az átadás hajtóerejét a koncentrációnak az egyensúlyi értéktől való eltérésevel szokták

megadni. Az átadási áram mindig merőleges az átadási felületre, és iránya a nagyobb koncentráció felől a kisebb felé mutat.

Ha az (1), (2) és (3) egyenleteket megszorozzuk az áramlás irányára merőleges A felülettel, akkor az i -edik komponens \dot{m}_i (kg/s) tömeg áramát vagy i -edik komponens anyag áramát \dot{N}_i (mol/s) kapjuk. A tömegáram arányos az anyagárammal, és az arányossági tényező a mól tömeg.

2.4. Kémiai reakció

A környezetben a negyedik áramforma a kémiai reakció. Gondoljunk a savas esőkre, a szerves anyagok bomlására, rothadási folyamatra, vagy a környezetbe kikerült veszélyes anyagokra, melyeknek a felezési ideje több száz év is lehet.

Egy kémiai reakciót, a reakció sebességével, azaz a térfogategységben időegység alatt képződött vagy elreagált anyag mennyiségével jellemezzük. A környezetben lejátszódó reakciók az esetek többségében elsőrendűek. Egy reakció r (mol/m³s) sebessége elsőrendű, ha arányos a reakcióban részt vevő anyag C (mol/m³) koncentrációjával. A k_1 (1/s) sebességi állandó csak a hőmérséklettől függő arányossági tényező. Ezek szerint egy elsőrendű egyirányú, egyensúlytól távoli $A \xrightarrow{k_1} P$ reakció sebességi egyenlete:

$$r = -k_1 C_A \quad (4)$$

A negatív előjel azt jelöli, hogy az A komponens a reakcióban elreagál. A környezetben végbemenő reakciók általában lassúak, ezért a sebességi állandójuk (1/nap), illetve (1/év) nagyságrendűek is lehetnek.

3. TRANSZPORT EGYENLETEK

Az anyag transzportot leíró matematikai modell alapja az anyag megmaradási törvény, ami kimondja, hogy az összes anyag mennyisége a folyamatban változatlan marad, ezért egyenletbe lehet foglalni (ezek a transzport egyenletek) és az egyenletek megoldásával számunkra valamilyen ismeretlen értéket ki tudunk számolni. A folyamatok lehetnek tömeggel kontrolált zárt-, illetve térfogattal kontrolált nyitott rendszerek. A természetben végbemenő transzport folyamatok többségét térfogattal kontrolált, folytonos rendszer.

Az anyagmegmaradás értelmében a mérlegegyenletet szavakkal a következőképpen tudjuk megadni. Egy rendszerbe belépő- és kilépő anyagáram különbsége plusz a kémiai reakcióban képződő- és elreagált anyag különbsége egyenlő a rendszeren belül felgyülemlett anyagmennyiséggel. Attól függően, hogy ezt a mérlegegyenletet egy makro térrészre vagy egy elemi térfogatra írjuk fel, megkülönböztetünk integrális- és differenciális mérleg egyenletet.

3.1. Integrális mérlegegyenlet

Az integrális mérlegegyenlettel egy egész térrészre (kontrolltérfogatra), például egy tó víztartalmára, vagy a tóban levő víz valamelyik oldott komponensére, vagy a tóban levő lebomló vagy rothadó szerves anyag mennyiségére fogalmazzuk meg. Egy tóba belépő A (kg/s) vagy (mol/s) anyagáram összege mínusz a tóból kilépő A anyagáram összege mínusz a V^* térfogatú vizet tartalmazó tóban, kémiai reakció során időegység alatt elreagált A anyag mennyisége egyenlő a tóban időegység alatt felhalmozódott A anyag mennyiségével:

$$\sum_{i=1}^n (\dot{V}_i C_{A,i})_{be} - \sum_{j=1}^n (\dot{V}_j C_{A,j})_{ki} + \beta A \Delta C_A - V^* k C_A = \frac{dN_A}{dt} \left(\frac{mol}{s} \right) \quad (5)$$

ahol \dot{V} (m^3/s) a belépő- és kilépő víz térfogatárama, V^* (m^3) a tóban levő víz térfogata,

3.2. Differenciális mérlegegyenlet

Differenciális mérlegegyenlettel mindig egy elemi térfogategységre fogalmazzuk meg a megmaradási tételt, és integrálással kapjuk meg, a makro térrészen belül a koncentráció változásait. A differenciális mérlegegyenlet egydimenziós alakja:

$$V_x \frac{\partial C_A}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(-D \frac{\partial C_A}{\partial x} \right) + \beta \omega \Delta C_A - k C_A = -\frac{\partial C_A}{\partial t} \left(\frac{mol}{m^3 s} \right) \quad (6)$$

ahol V_x a fluidum áramlási sebessége. Gyakran a koncentrációkat (kg/m^3) egységekben adjuk meg, különösen ott ahol nem ismerjük a kémiai összetételt.

A differenciális mérlegegyenlet háromdimenziós alakja:

$$V_x \frac{\partial C}{\partial x} + V_y \frac{\partial C}{\partial y} + V_z \frac{\partial C}{\partial z} - D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + \beta \omega \Delta C - k C = -\frac{\partial C}{\partial t} \left(\frac{mol}{m^3 s} \right) \quad (7)$$

A (7) egyenletet általános transzport egyenletnek, vagy Benedek - László mérlegegyenletnek nevezzük, és öt tagból áll: *Advekcio - Vezetés + Átadás - Forrás = Lokális változás*, vagy röviden $A - V + \dot{A}T - F = L$ (Az egyenlet három első tagja az advekcio-, a következő három tagja a vezetés háromdimenziós alakja).

4. KÖRNYEZETI TRANSZPORT FOLYAMATOK CSOPORTOSÍTÁSA

A környezetben végbemenő transzport folyamatokat csoportosíthatjuk a komponens transzportot leíró (7) általános mérlegegyenlet alapján, a domináló áramformák szerint. Ugyanis a mérlegegyenlet teljes körű öt áramformája nem azonos hatással érvényesül. Általában két vagy ritkább esetben három áramforma a jellemzően meghatározó, a többiek ezekhez képest elhanyagolható hatást gyakorolnak. Az esetek többségében a folyamatokat két domináló áramformával tanulmányozhatjuk, amelyeket az öt áramforma lehetséges tízféle ismétlés nélküli kettős kombinációja közül választhatjuk ki. Hármass kombinációra ugyancsak tízféle változatot kapunk. Az 1. táblázatban összefoglaljuk a környezeti transzport folyamatokban a domináló áramformák kettős és hármass kombinációit.

Például ha egy diffúziós anyagtranszportot vizsgálunk gyorsan oldódó, egyszeri pontforrás (impulzuszavarás) környezetében, akkor a (7) egyenletből a vezetékes és a lokális változási tagot, illetve az 1. Táblázat 7. sorából az első oszlopban levő $V = L$ tagokat kell matematikai modellként figyelembe venni. Ilyen lehet, például egy állóvízű tóba bekerül egy egyszeri azonnal oldódó (szennyező) anyag, vagy a levegőbe kerül valamilyen (mérgező) gáz, ekkor a matematikai modell megoldása a peremfeltételektől függően egy-, kettő- vagy háromdimenziós térben és időben is változó Gauss-féle harang görbe.

Hasonló probléma lehet, ha a szennyeződés folyóvízbe kerül, ekkor a vezetékes és lokális változás mellett a advektív tagot is figyelembe kell venni, az 1. Táblázat 3. sorából a 2.

oszlopban levő $V - A = L$.

Ha kémiai reakció is játszódik le egy visszakeveredésezes áramlású folyóban, akkor a matematikai modellt az 1. Táblázat 2. sorának 2. oszlopa $V + F = A$ adja. Egyszerűsödik a modell, ha a reakció ideális kifolyású rendszerben, például dugószerű áramlású csőben megy végbe, és így tovább.

Sorszám	Két meghatározó áramforma	Három meghatározó áramforma
1	$A+V$	$A+V+\dot{A}T$
2	$A+\dot{A}T$	$A+V+F$
3	$A+F$	$A+V+L$
4	$A+L$	$A+\dot{A}T+F$
5	$V+\dot{A}T$	$A+\dot{A}T+L$
6	$V+F$	$A+F+L$
7	$V+L$	$V+\dot{A}T+F$
8	$\dot{A}T+F$	$V+\dot{A}T+L$
9	$\dot{A}T+L$	$V+F+L$
10	$F+L$	$\dot{A}T+F+L$

1. Táblázat Környezeti transzport folyamatok csoportosítása a meghatározó áramformák szerinti

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **HAROLD F. HEMOND AND ELIZABET J. FECHNER-LEVY:** Chemical Fate and Transport in the Environment, Second Edition, Academic Press, 2009. pp.14.
- [2] **BRUCE E. LOGAN:** Environmental Transport Processes, A Wiley-Interscience Publication, 1999. pp. 171.
- [3] **JAMES L. MARTIN AND STEVEN C. MCCUTCHEON:** Hydrodynamics and Transport for Water Quality Modeling, Lewis Publishers, 1999. p. 199-200.

A KÖD KIALAKULÁSÁNAK ÉS NYOMON KÖVETÉSÉNEK LEHETŐSÉGE A REPÜLÉSMETEOROLÓGIÁBAN AZ EUMETSAT MSG MŰHOLD RGB KOMPOZIT PRODUKTUMAINAK ALKALMAZÁSÁVAL

POSSIBILITY OF FOG DETECTION AND MONITORING IN THE AVIATION METEOROLOGY APPLYING EUMETSAT MSG SATELLITE COMPOSITE PRODUCTS

Dr. BOTTYÁN Zsolt

egyetemi docens
ZMNE, BJKMK, RLI, Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék
bottyán.zsolt@zmne.hu

Kivonat: A repülésmeteorológia egyik legnagyobb kihívása az alacsony látástávolság és felhőalap előrejelzése. A feladat minél pontosabb megoldása megköveteli a pontos analízist, mely magában foglalja a köd/alacsony stratus borította területek kijelölését és esetleges mozgásuk detektálását. Erre a célra kiválóan alkalmasak a meteorológiai műholdas produktumok, melyek nagy időbeli és térbeli felbontás mellett segítik ezt a munkát. Munkánkban bemutatjuk a ZMNE Repülésmeteorológiai Laboratóriumban előállított RGB kompozit műholdképeket és rámutatunk ezek hasznosságára a ködök és alacsony stratusok megfigyelésében és nyomon követésében.

Kulcsszavak: köd/alacsony stratus, RGB kompozit, EUMETSAT, rövid távú előrejelzés, repülésmeteorológia

Abstract: One of the largest challenge of aviation weather forecast is to predict the low visibility and ceiling. This procedure requires a high quality weather analysis including the determination of foggy and low level cloudy areas and their changes, too. There are many satellite pictures have large spatial and temporal resolution which are capable to help the above mentioned procedures. In our work we demonstrate such EUMETSAT satellite RGB composite pictures mainly made in ZMNDU Aviation Weather Laboratory.

Keywords: fog/low stratus, RGB composite, EUMETSAT, nowcasting, aviation meteorology

1. BEVEZETÉS

A repülésmeteorológiában alkalmazott rövid távú előrejelzési eljárások (nowcasting procedures) egyik leginkább problémás területe a látástávolság – így természetesen a köd – prognosztikája. Ugyanakkor a repülési feladatok meteorológiai korlátait elsősorban a látástávolság (és a felhőalap) értékei alapján állapítják meg. Ezért a horizontális látástávolság előrejelzése kiemelkedően fontos szerepet játszik a repülőtéri nowcasting folyamatában [1].

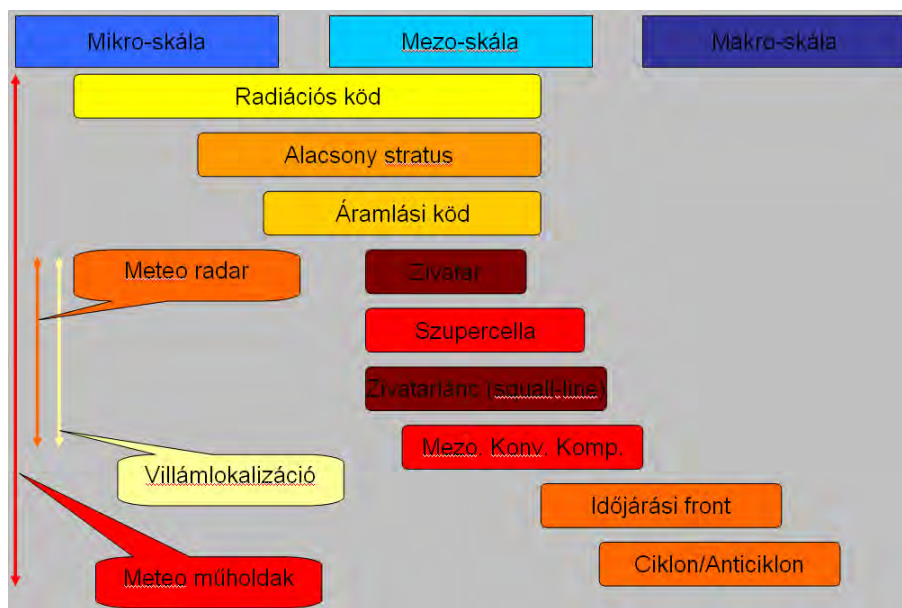
A látástávolság romlását az esetek döntő többségében a talaj közeli levegőrétegben kondenzálódott apró vízcseppek nagy száma okozza. Amennyiben a horizontális (meteorológiai) látástávolság 1000 méter alá csökken az előbbi okból adódóan, akkor ködről beszélünk.

Természetesen genetikáját tekintve többféle ködtípust tudunk megkülönböztetni, de mindegyikre igaz, hogy nehéz előre jelezni a kialakulásukat és esetleges helyváltoztatásukat egyaránt. Munkánkban bemutatjuk, hogy speciális meteorológiai műholdas produktumok segítségével hogyan lehet nyomon követni a köd/alacsony stratus felhőzet kialakulását és mozgását.

2. A KÖD/ALACSONY STRATUS MONITORINGJÁNAK PROBLÉMÁI ÉS LEHETŐSÉGEI

A köd kialakulásának korábban említett prognosztikai nehézsége mellett a kialakult köd/alacsony stratus mozgásának nyomon követése (monitoringja) is sok gondot okoz az előrejelzőknek. A ködök a meteorológiai méretskálán az ún. mezo- illetve mikro-léptékű jelenségek közé tartoznak, amiből következik, hogy csak igen nagy térbeli és időbeli felbontású numerikus modellek alkalmazásával lehet számítani az előrejelzésükre, de számos esetben tapasztalhattuk, hogy ezek az előrejelzések kevésbé váltak be (1. ábra).

A fentebb említett méretskálából adódik, hogy a ködök akár a néhány m^2 -estől a több tízezer km^2 -es területig akármeckora horizontális kiterjedésben megjelenhetnek és kialakulásuk is rendkívül gyors, gyakran néhány perc mindössze!



1. ábra A repülésre veszélyes meteorológiai hatások és jelenségek skálái és távérzékelési lehetőségei

Éppen ezért nagyon lényeges, hogy minél előbb kapjanak az előrejelzők térbeli információt a kialakuló ködökről, illetve az alacsony stratus felhőzetről. Ehhez azonban megfelelő sűrűségű szinoptikus és/vagy klíma állomáshálózatra lenne szükség, időben nagy felbontású adatszolgáltatással. Azonban Magyarországon még az Országos Meteorológiai Szolgálat teljes körű állomáshálózata sem elég sűrű a kialakuló ködök pontos helyének és mozgásának meghatározására, nem is beszélve arról, hogy ezek az adatok számos repülőtérén nem állnak rendelkezésre.

Az egyik alkalmazható lehetőség a köd/stratus megfigyelésére a meteorológiai műholdak képeiből készített produktumok alkalmazása. A műholdas produktumok hatalmas előnye a rendkívül jó területi lefedettség valamint az időbeli felbontás mértéke. Az EUMETSAT MSG műholdjai esetében hazánk földrajzi helyzetéből adódóan a területi felbontás általában 4-5 km-es, de a HRV csatorna esetén ez 1-2 km mindössze. Időben pedig 5-6 percenként hozzá lehet férni a produktumokhoz, így ez a felbontás is rendkívül jónak mondható! [2]

A továbbiakban bemutatjuk azokat az EUMETSAT MSG meteorológiai műhold által készített képekből előállított RGB kompozit képeket, melyek alkalmasak a köd/alacsony stratus megfigyelésére.

3. AZ EUMETSAT MSG MŰHOLDOK CSATORNÁI ÉS ALKALMAZHATÓSÁGUK A KÖD MEGFIGYELÉSÉRE

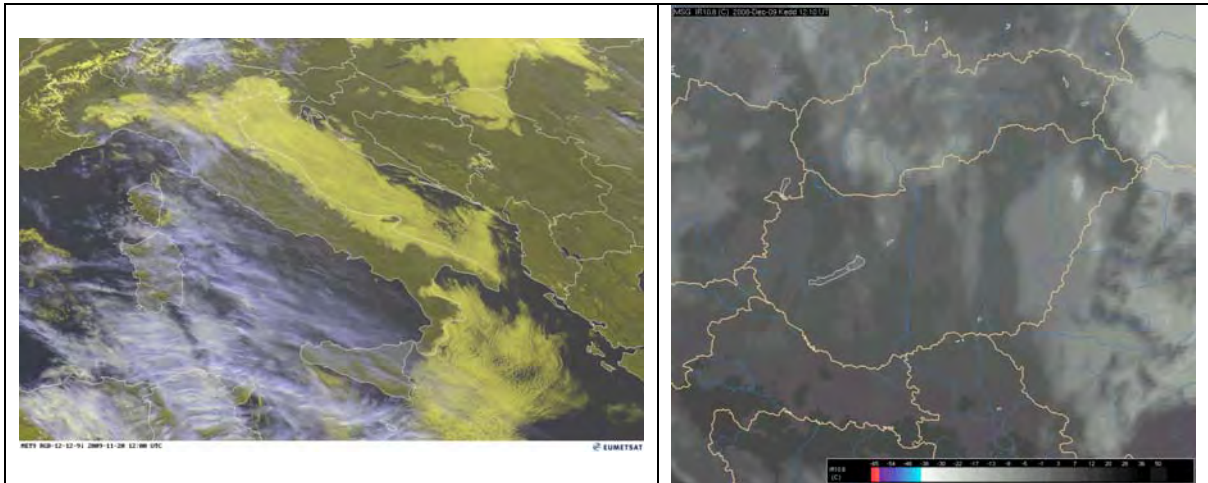
Az EUMETSAT MSG műholdak geostacionárius pályán, 12 csatornán végeznek megfigyeléseket 15 perces időfelbontással a teljes félgömbre vonatkozóan. A csatornakiosztást az 1. táblázatban láthatjuk. A különböző hullámhosszokon történő észlelés miatt az 1-2-12 (VIS: látható fény tartománya, HRV: nagy felbontású látható) csatornák csak nappal, míg a többi éjjel-nappal rendelkezésre állnak. Tudnunk kell azonban, hogy egy-egy csatorna csak az adott hullámhosszra jellemző sugárzási karakterisztikát hordozza, így pl. a VIS0.6 csatorna képein csak az adott hullámhosszon visszavert napsugárzást láthatjuk, míg pl. az IR10.8 csatorna a földi termikus tulajdonságokról ad információt [3].

A köd/alacsony stratus jelenség nappal vizuálisan (pusztán geometriai és felületi tulajdonságok alapján) is jól elkülöníthető a többi felhőzettől alapvetően homogén tetejével, gyakran éles peremével és a magassági elkülönítés elvét alkalmazva (2.a. ábra).

Csatorna száma	Csatorna neve és hullámhossza (µm)	Hullámhossz középértéke (µm)	Megfigyelési lehetőségek
1	VIS0.6	0,635	Felszín, felhők, szélmező
2	VIS0.8	0,810	Felszín, felhők, szélmező
3	NIR1.6	1.640	Felszín, felhőfázisok
4	IR3.9	3.900	Felszín, felhők, szélmező
5	WV6.2	6.250	Vízgőz, magas szintű felhőzet, légköri instabilitás
6	WV7.3	7.350	Vízgőz, légköri instabilitás
7	IR8.7	8.700	Felszín, felhők, légköri instabilitás
8	IR9.7	9.660	Ózon
9	IR10.8	10.800	Felszín, felhők, szélmező, légköri instabilitás
10	IR12.0	12.000	Felszín, felhők, légköri instabilitás
11	IR13.4	13.400	Cirrus felhőzet, légköri instabilitás
12	HRV	Szélessáv (0.4-1.1 µm)	Felszín, felhőzet

1. Táblázat Az MSG műhold érzékelőjének csatornakiosztása és az egyes csatornák alkalmazhatósága

Magas napállásnál az infravörös csatornákon is el lehet különíteni a ködöt/alacsony stratust, mégpedig a tetejének a talajtól és más felhőzet tetejétől markánsan eltérő hőmérsékletének figyelembe vételével (2.b. ábra). Az ábrán látható, hogy a stratus teteje világosabb színű (hidegebb), mint a sötét színű felszín, ugyanakkor ez a hőmérsékleti kontraszt napnyugtához közeledve eltűnik [1].



2.a. ábra. Köd/alacsony stratus a Tiszántúlon és az Adria-tenger felett az MSG műhold HRV csatornáján készült felvételen (Copyright EUMETSAT, 2009). 2.b. ábra. Köd/alacsony stratus a Tiszántúlon az MSG műhold IR10.8-as csatornáján készült képen [1].

4. AZ EUMETSAT MSG MŰHOLDOK CSATORNÁIBÓL KÉSZÜLT RGB KOMPOZIT MŰHOLDKÉPEK ÉS ALKALMAZHATÓSÁGUK A KÖD MEGFIGYELÉSÉRE

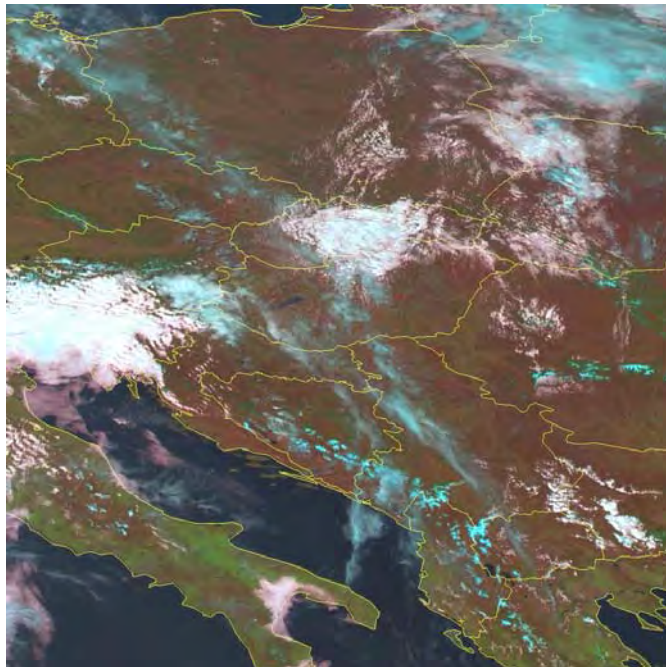
Sajnos a gyakorlatban sokszor nem elegendőek csak a formai vagy termikus tulajdonságok ahhoz, hogy elkülönítsük az alacsony felhőzetet/ködöt. Ilyenkor szükség van a felhőzet mikrofizikai tulajdonságainak térképezésére is. Ehhez azonban már több csatornának a kombinációjára van szükség és így ún. RGB kompozit képeket kell előállítanunk [1]. A kompozit képek általában három különböző csatorna információját hordozzák aszerint, hogy milyen tulajdonságot szeretnénk kiemelni az adott területen levő meteorológiai jelenségek vizsgálatakor. A kompozit képek közül több már „szabványosnak” tekinthető, így az előrejelzők számára egy adott kép ugyanazt a színezést és információt hordozza (pl. airmass RGB kompozit, day microphysical RGB kompozit, stb.). [4] A munkánkban bemutatásra kerülő RGB kompozit képek alkalmasak a köd/alacsony stratus megfigyelésére, nyomon követésére, éjjel és nappal egyaránt.

A nappali időszakban alkalmazható kompozit képek közül a legfontosabb az ún. nappali természetes színű RGB kompozit kép. Ezt a képet a VIS0.6 (Red), VIS0.8 (Green) és a NIR1.6 (Blue) csatornákból állíthatjuk elő. Ezeken a képeken a köd már nemcsak alakjának különül el, hanem konkrét, lilás-szürke színben jelenik meg (3. ábra).

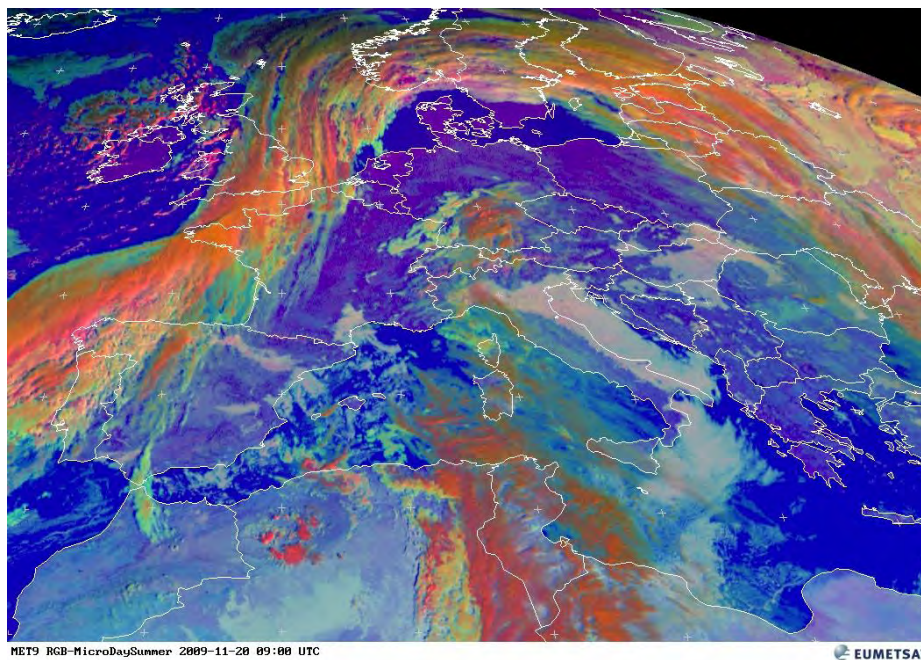
Szintén a nappali időszakban használható a ködök felderítésére és nyomon követésére az ún. nappali mikrofizikai RGB kompozit produktum. Ahogy nevében is benne van, a ködök azon mikrofizikai tulajdonságát emeli ki, miszerint a ködben lebegő vízcseppecskék mérete nagyobb, mennyisége viszont jóval kisebb a többi felhő elemének méretéhez viszonyítva. Ez a tény a köd optikai tulajdonságaira van hatással. [5] Mivel az IR3.9-es csatorna (Green) érzékeny a cseppméretre, ezért a VIS0.8 (Red) és IR10.8 (Blue) mellett ez a sáv került be ebbe a csatornahármasba. Ennek megfelelően, ezen a kompozit képen a köd/alacsony stratus halvány-szürkés-kék árnyalatban észlelhető, jól elkülönülve a többi felhőzettől (4. ábra).

A köd/alacsony stratus monitoringja különösen fontos az éjszakai órákban, amikor már a vizuális megfigyelések jelentősen korlátozva vannak. Sajnos ebben az időszakban a VIS0.6, VIS0.8 és HRV csatornák nem szolgáltatnak képet, így csak az infravörös tartományban lévő csatornák adataival dolgozhatunk. Ennek megfelelően alakították ki az éjszakai köd RGB kompozit produktumot, mely az egyetlen olyan műholdas kép, mely képes éjjel megmutatni a

ködös területeket, így alkalmazása „esszenciális” a repülőtéri meteorológiai szolgálatoknál. A képet az IR12.0-IR10.8 (Red), az IR10.8-IR3.9 (Green) és IR10.8 (Blue) csatornák adataiból állítjuk elő, melynek eredményeképpen a köd/alacsony stratus a halvány rózsaszín felszíni háttér előtt, világos zöldeskék színben jelenik meg (5. ábra).



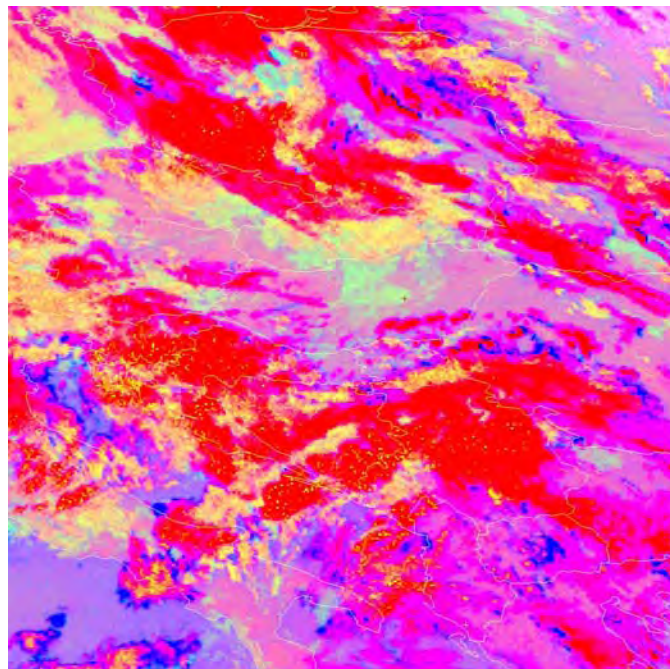
3. ábra. Ködös/alacsony stratus-os terület az MSG természetes színezésű RGB kompozit képén, Dél-Olaszország felett (Copyright EUMETSAT, 2010. Képfeldolgozás: ZMNE, Repülésmeteorológiai Laboratórium.).



4. ábra Ködös/alacsony stratus-os területek az MSG nappali mikrofizikai RGB kompozit képén, a Tiszántúlon és az Adria-tenger felett (Copyright EUMETSAT, 2009).

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A repülésbiztonság szempontjából alapvetően fontos a köd/alacsony stratus helyének pontos meghatározása. A jelenség mezo-skálájú előfordulása miatt, a felszíni észlelés és nyomon követés problémába ütközik a földi állomáshálózat időben és térben nem elég sűrű mintavételezéséből adódóan. A legjobb megoldást a speciális ún. RGB kompozit meteorológiai produktumok jelentik, melyek segítségével 5 perces időbeli és 1-5 km-es térbeli felbontás mellett tudjuk kiemelni a többi jelenség közül a ködös területeket. Munkánkban jórészt, a ZMNE Repülésmeteorológiai Laboratóriumában készült ún. nappali természetes színű, a nappali mikrofizikai és az éjszakai köd RGB kompozit műholdképeket mutattuk be, mint amelyek a legjobban segítik a ködök/alacsony stratus-ok felderítését és nyomon követését, bármely napszakban.



5. ábra Kód az éjszakai időszakban a Duna-Tisza közének középső és északi területén az éjszakai köd RGB kompozit képen (Copyright EUMETSAT, 2010. Képfeldolgozás: ZMNE, Repülésmeteorológiai Laboratórium.)

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BOTTYÁN ZSOLT**, Az EUMETSAT EUMETCAST meteorológiai műholdas berendezések felhasználási lehetősége az operatív előrejelzésben a katonai repülőtereken. Repüléstudományi Konferencia, Konferencia Kiadvány, Szolnok, 2010/2.
- [2] **PUTSAY MÁRIA, KOCSIS ZSÓFIA**, Az EUMETSAT által műholdadatokról származtatott légköri és felszíni paraméterek. Országos Meteorológiai Szolgálat kiadványa, Budapest, 2009.
- [3] **SCHMETZ, J., PILI, P., TJEMKES, S., JUST, D., KERKMANN, J., ROTA, S., RATIER, A.**, An Introduction to Meteosat Second Generation (MSG). Bulletin of American Meteorological Society. 2002. July, 977-992.
- [4] **LENSKY, M., ROSENFELD, D.**, Cloud – Aerosols – Precipitation Satellite Analysis Tool (CAPSAT). Atmospheric Chemistry and Physics, Vol. 8., 2008, 6739-6753.
- [5] **HESS, M., KOEPKE, P., SCHULT, I.**, Optical properties of aerosols and clouds: the software package OPAC. Bulletin of American Meteorological Society. Vol. 79., No.5., 1998., 831-844.

TERMOGRÁFIAI ELJÁRÁSOK REPÜLŐGÉPEK ÁLLAPOTFELMÉRÉSÉBEN

THERMOGRAPHY IN AIRCRAFT HEALTH MONITORING

DR. LUDÁNYI Lajos, DR. MAKKAY Imre, TERÉKI Csaba

Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Bolyai János Katonai Műszaki Kar,
Repülő és Légvédelmi Intézet, Fedélzeti Rendszerek Tanszék
5001 Szolnok, Kilián u.1.
ludanyi.lajos@zmne.hu, makkay.imre@zmne.hu, tereki.csaba@zmne.hu

Kivonat: napjainkban termográfia az élet számos területén - az egészségügyben az épületek hő-háztartásának ellenőrzésében az ipari és tudományos mérések során - bizonyította hasznosságát. Amint arról számos külföldi és hazai K+F eredmény tanúskodik, a termográfia képes a repülőgépek sárkány-, hajtómű szerkezetének és a fedélzeti rendszereinek alkalmasságáról, annak változásáról – a jelenlegi üzemeltetési rendszer képességeit kiegészítendő – termodinamikai információkkal is szolgálni. Jelen írásműben a szerzők - az általános áttekintésen túl - a légi járművek állapotfelmérésében alkalmazható megoldásokat keresik.

Kulcsszavak: termográfia, repülőgépek, állapotfelmérés

Abstract: Nowadays the thermography is spreading from medicine through building's inspection up to science research challenges. As many references from abroad approved that the thermal diagnostic method is useful for health monitoring of fuselages, engines and avionics of aircrafts. In this paper authors are intending to make a review of those principles and to find some new solutions for aircraft health monitoring.

Keywords: thermography, airplanes, health monitoring

1.BEVEZETÉS

A roncsolásmentes vizsgálatok [1,2] a légi járművek karbantartása, műszaki kiszolgálása során fontos szerepet töltenek be. A termo-diagnosztika, bár sok más területen egyre nagyobb teret kap, még nem tartozik a mindennapi gyakorlatba. A vizsgált objektumok által kibocsátott/elnyelt hő képe alapján a gyakorlott szakemberek a működési rendellenességeket fel tudják térképezni és a megfelelő ellenintézkedés hatását is ellenőrizni tudják.

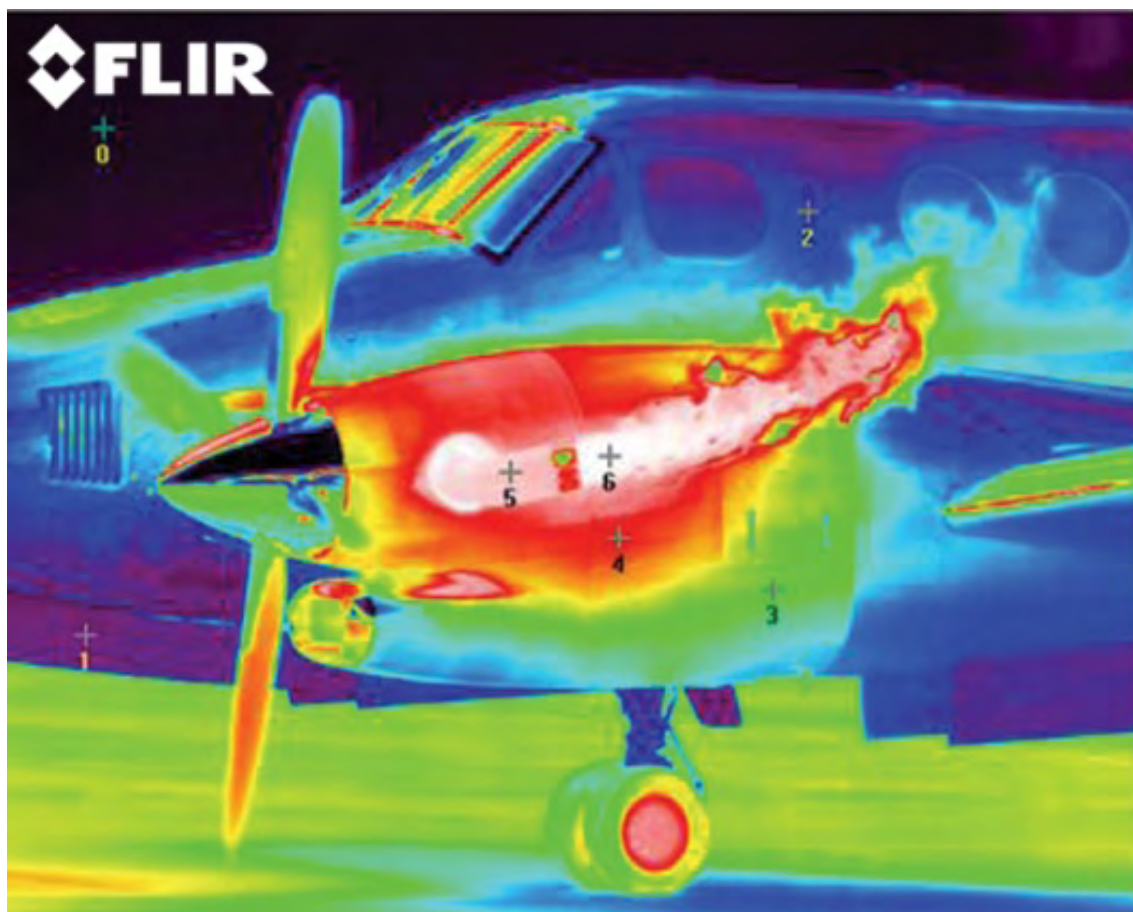
A légi járműveknél felmerülő üzemidő, karbantartás, sérülés-javítás utáni állapotok objektív megítélését segítheti a termo-diagnosztikai kutatások külföldi és hazai eredményeinek hasznosítása, mely utóbbihoz a ZMNE RLI tanszékein e témában folyó elméleti és kísérleti munkák is hozzájárulhatnak.

A repülőgépek üzemeltetése során az egyik legélesebben felmerülő kérdés a meghibásodások felderítésére és annak kijavítására fordítandó időtartam meghatározása [3] - és természetesen a lehető legalacsonyabb szinten tartása.

2.TERMO-DIAGNOSZTIKA

Minden fizikai test, amely az abszolút nulla Kelvin foknál melegebb, infravörös hullámokat bocsát ki magából, de az ember számára az infravörös tartomány – amely hullámhossza a látható félynél nagyobb – szemmel már nem látható.

A hőkép megjelenítésére speciális segédeszközt, termo-kamerát kell igénybe vennünk, amely a látható fény tartományán kívüli hőhullámokat a szemünk által érzékelhető képpé alakítja.



1. kép A FLIR (Forward Looking Infrared) a hajtómű saját hőjét mutatja[1]

A termo-kamerák lencserendszere nem csak árban, tömegében is jelentős tétel (a germánium sűrűsége $5,32 \text{ g/cm}^3$) ezért gyakran kedvezőbb a nagytömegű (emellett rendkívül drága) zoom objektív helyett a több fix fókuszú lencsékkel szerelt kamera.

A „klasszikus” termográfia a testek saját kisugárzott hőjét érzékeli. A továbbiakban a „dinamikus termográfia” megvalósításának lehetőségeit tekintjük át, mely az anyagok különböző típusú gerjesztések hatására adott termikus válaszát kutatja.

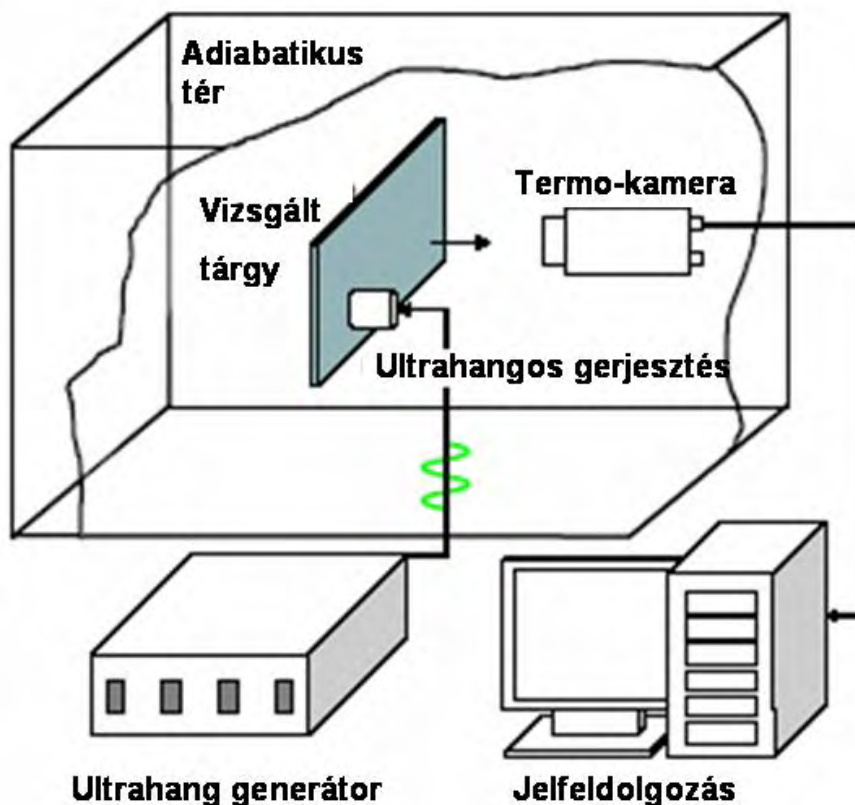
3. DINAMIKUS TERMOGRÁFIA

A „dinamikus termográfia”[1] lényege, hogy a vizsgálandó darabbal külső energiát közölve a folytonossági hiányok, repedések közvetlen közelében hővé alakul és ez a hő – amely akár néhány tíz $^{\circ}\text{C}$ is lehet – már detektálható termo-kamera, vagy infra-érzékeny film segítségével. Az elv egyaránt alkalmazható a fém és kompozit szerkezetű repülő eszközök vizsgálatánál, [1,2] azonban a „gerjesztés” módja – az anyag és a vizsgálati körülmények függvényében – lehet eltérő.

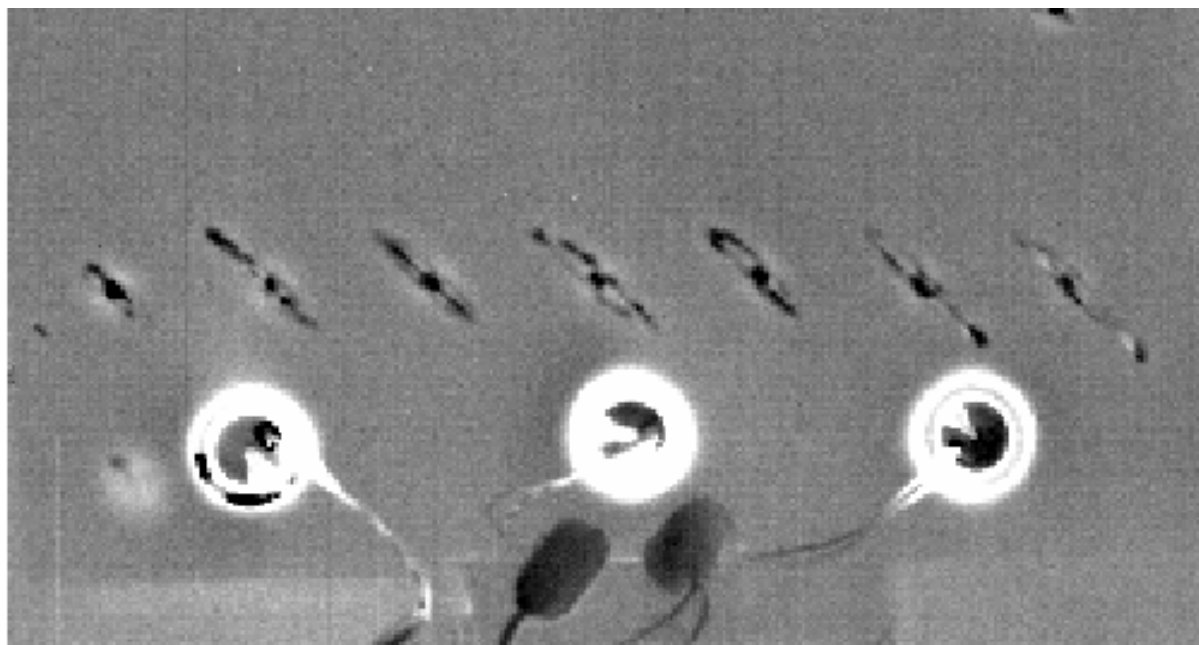
Az optikai tartományú gerjesztés – halogén lámpa, villanó fény – megfelelő szinkronjellel vezérelve biztosítja a fényforrás és a termo-kamera fázishelyes működését. A fény által keltett hő a sérülések, repedések környezetében[3] a homogén anyagtól eltérően reflektálódik, amit a termo-kamera a besugárzások szünetében képi formában megjelenít. Az ismételt besugárzásokkal a mélyebb rétegek is elérhetők, a számítógépes képfeldolgozással a felbontás és a kiértékelés minősége tovább javítható [4].

Az ultrahangos gerjesztés általános felépítését az 1. ábrán lehet nyomon követni. A gerjesztő jel frekvenciáját és teljesítményét a vizsgált tárgy anyagához, méretéhez kell

hangolni. A termo-kamera hőmérsékletváltozást érzékel – amely a mechanikus rezgések hatására következik be.



1. ábra Az ultrahanggal gerjesztett céltárgy termo-válasz vizsgálata [4]



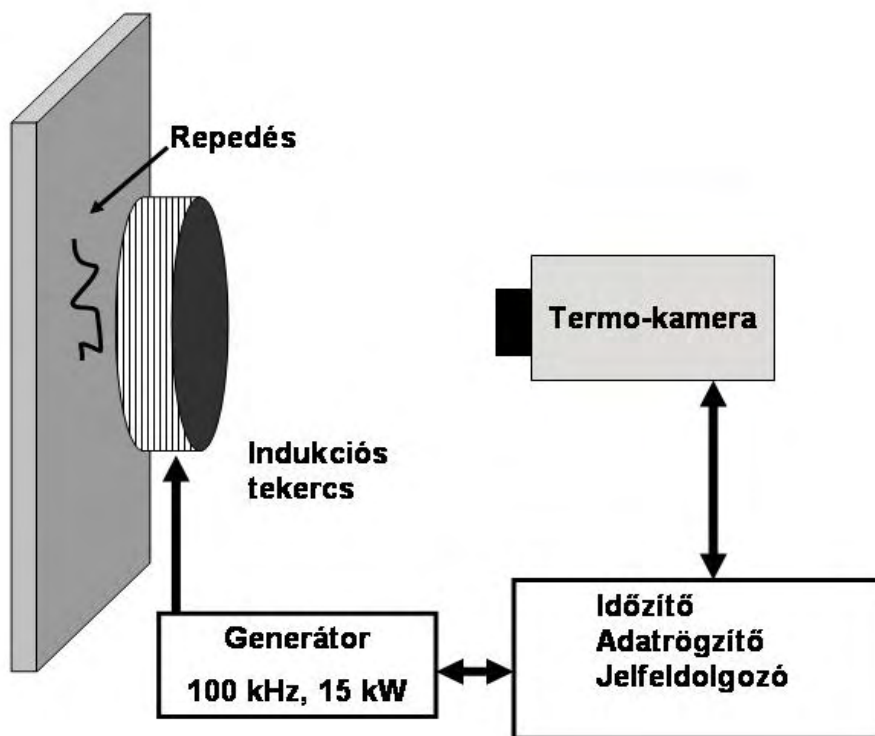
2. kép Kisméretű piezo-keramikus aktuátorok által gerjesztett „fázis-kép”[2]

Az egyszerű – nem szinkronizált – akusztikus gerjesztés, ugyan létrehozza a hőmérsékletváltozást a nem homogén, deformált, repedéses szerkezetekben, azonban emellett

jelentős termikus zaj is keletkezik.

A 2. képen látható a mintadarab 1 sec időtartamú 8 kHz frekvenciájú 200W teljesítményű besugárzását követő állapot. A Fourier transzformált fázis képe – bár tartalmazza az aktuátorok „nyomát” – jól mutatja a repedések helyét és alakját is.

Az indukciós gerjesztéssel a fémes (vezető) alkatrészekben okozhatunk hőmérséklet-emelkedést (2. ábra.). A nagyfrekvenciás jelet előállító generátor és a termo-kamera az időzítő által fázisban vezérelt, ami egyben a képfeldolgozás számára is referencia jelet biztosít.



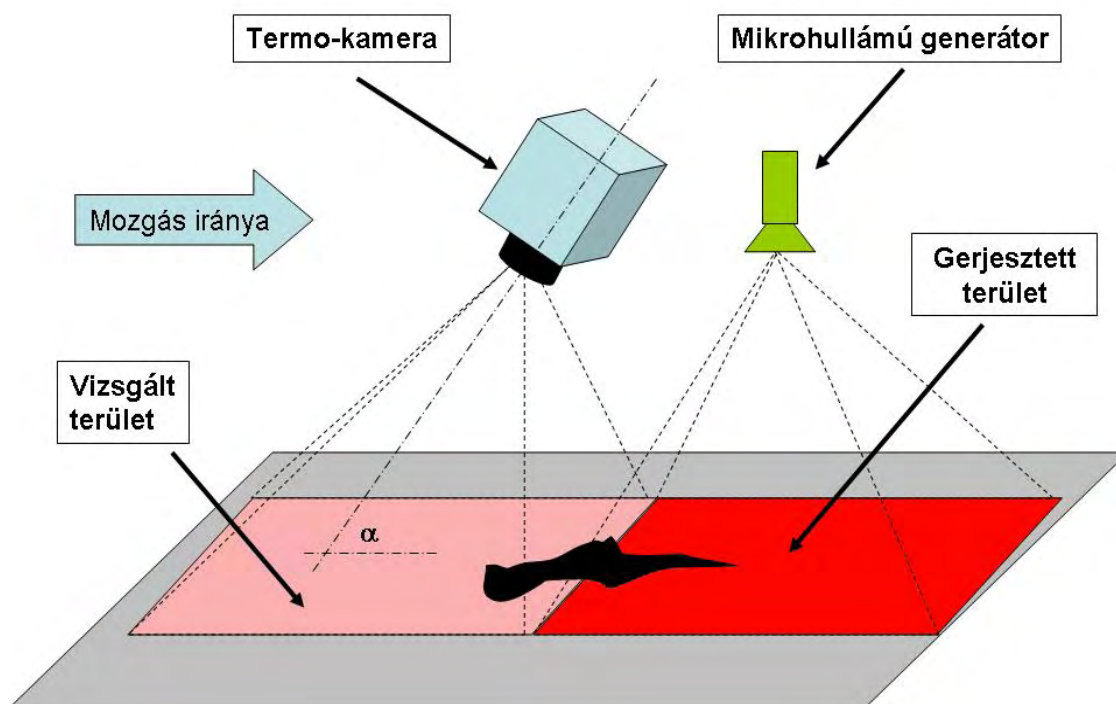
2. ábra Indukciós gerjesztéssel keltett hő a repedések, anyagfáradások termo-diagnosztikai felderítésére

Az indukciós gerjesztés[5,6] – a frekvenciatartomány miatt – csak a fémes vezető anyagokban kelt a detektáláshoz elegendő hőt. A továbbiakban ennek nyomán született – jelenleg kísérleti fázisban lévő – eljárást ismertetünk, amely lehetőséget kínál az eddig nem vagy csak nehezen detektálható sérülések felderítésére.

4. MIKROHULLÁMÚ GERJESZTÉS A DINAMIKUS TERMOGRÁFIÁBAN

A korábban áttekintett roncsolásmentes vizsgálati módszerek sorát bővítendő a RLI kutatóival keressük a további termo-diagnosztikai gerjesztési módszereket, amelyek segíthetik az ilyen és ehhez hasonló – nem szokványos – meghibásodások felderítését. A nagyfrekvenciás gerjesztés tartományát a „mikrohullámú sütők” irányába próbáljuk kiterjeszteni – ezáltal a vízcseppek, jég, nedvesség, pára indikálását elősegíteni.

A műszaki megoldás alapja egy mikrohullámú generátor, amely által kisugárzott nagyfrekvenciás jel a repülőgépek építésénél használatos kompozit anyagokban is termikus reakciót vált ki. A gerjesztés hatására bekövetkezett hőmérsékletváltozást a termo-kamera leképezi – megjelölve az anomáliákat. (3. ábra.).



3. ábra A mikrohullámú vizsgáló kamra belső felépítése

A mikrohullámú vizsgáló kamrát (az ábrán a fala nincs megjelenítve) a céltárgy felületén elmozgatva, a generátorral gerjesztett céltárgy hő-válaszképe a termo-kamerával megfigyelhető.

(Az eddigi kísérleteink során bebizonyosodott, hogy a nagy felületi finomságú, fényes, lakkozott felületek hő-tükröként viselkednek így a merőlegesen elhelyezett termo-kamera a „saját képét” is látja, ezért annak tengelyét a felülethez képest egy konstrukciótól függő „ α ” szöggel megdöntve a zavaró hő-tükrözés elkerülhető.)

A kutatás jelen fázisában (2010. május) a megfelelő generátorok kiválasztása, kipróbálása és mérőkamra megtervezése, kivitelezése folyik. A melegedést a besugárzott energia szintje, időtartama és a vizsgált anyag szerkezete és vezetőképessége határozza meg. A mélyebben elhelyezkedő rétegekben – homogén anyagot feltételezve – később emelkedik a hőmérséklet. Ezt a jelenséget felhasználva a vizsgált anyagot mintegy „szeletelve” lehet a repedéseket, rétegleválásokat felderíteni.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A dinamikus termográfianak – mely a vizsgálandó tárgyak anyagi összetételétől függő gerjesztési eljárást igényel – különösen a kompozit anyagú repülőgépek vizsgálata során lehet nagy szerepe. Az áttekintett gerjesztési módszerek önmagukban is új lehetőségeket kínálnak, ezért a ZMNE RLI tanszékein folyik a kipróbálásuk, mindemellett egy ezeken túlmutató „hiánypótló” megoldásról is beszámoltunk, melynek munkálatai jelenleg is folynak.

Jelen cikk a szakmai tájékoztatás mellett egyben felhívás és meghívó a további kutatásokban részt venni szándékozók számára.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. Békési László, Kavas László, Vonnák Iván Péter, Roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek alkalmazásának tapasztalatai
http://www.muszeroldal.hu/measurenotes/roncsolasmentes_anyag_vzsg.pdf
- [2] Gyenes Gábor, Svehlik János, A roncsolásmentes anyagvizsgálatok (ndt) szerepe és jelentősége légijárművek állapotfelmérésében, üzemidő hosszabbításában és állapot szerinti üzemeltetésében
http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006_cikkek/gyenes_gabor_svehlik_janos.pdf
- [3] Laszlo Pokoradi: Development of two-dimensional aircraft maintenance estimation method, 10th Mini Conf. On Vehicles System Dynamics. Identification And Anomalies, Budapest, Nov. 6-8. 2006 (p.7)
- [4] Anyagvizsgálók Lapja 2009/3 pp88-89
http://www.anyagvizsgaloklapja.hu/UserFiles/File/2009/3/e-AVL_2009_3_2_Trampus.pdf
- [5] R.L. Thomas, Xiaoyan Han, and L.D. Favro Institute for Manufacturing Research Wayne State University, Detroit, MI 48202, USA Thermal Wave Imaging of Aircraft for Evaluation of Disbonding and Corrosion
- [6] David K. Nondestructive Inspection Of Composite Structures: Methods And Practice Hsu Center for Nondestructive Evaluation Iowa State University Ames, Iowa 50011, USA
- [7] Thermal Wave Ndi Of Disbonds And Corrosion In Aircraft Xiaoyan Han, L.D. Favro and R.L. Thomas Wayne State University Institute for Manufacturing Research and Department of Physics Detroit, MI 48202, U.S.A.

A RÖPÍTŐTÁRCSÁS MŰTRÁGYASZÓRÁS MODELLEZÉSÉNEK FEJLŐDÉSE

PROGRESS OF THE MODELLING OF SPINNING DISC SPREADERS

GINDERT-KELE Ágnes - HAGYMÁSSY Zoltán

egyetemi adjunktus-egyetemi docens
Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma
Agrár-műszaki Tanszék
4032 Debrecen, Böszörményi út 138.
battane@agr.unideb.hu, hagymassy@agr.unideb.hu

Kivonat: A jelen munkában a számítógépesen modellezett műtrágyaszórás főbb kérdéseit és a legújabb eredményeket tekintjük át. A kutatók a fizikai, mechanikai problémát általában két részre bontják. Az első szakasz a szemcséknek a forgó tárcsán (lapáton) történő gyorsuló mozgása addig, amíg le nem válnak onnan. Tehát az első szakasz végén ismernünk kell a lerepülő szemcsék kinematikai és egyéb fizikai jellemzőit, hogy a második szakaszban a ballisztikai számítások után megkapjuk a szemcsék becsapódási helyét, amiből aztán következtetni lehet a szemcsék eloszlására a talajon. A becsapódási helyek elemzéséből pedig a szórás minőségi jellemzői (pl. a CV %-os szórási egyenlőtlenség) származtathatók.

Kulcsszavak: röpítőtárcsás műtrágyaszórás, számítógépes modellezés, műtrágya, diszkrét elemek módszere (DEM)

Abstract: In the present work we give an overview of the basic problems of computer modelling of the centrifugal spreaders along with the most promising results. In general, the researchers solve the physics and mechanics of the spreading in two steps. The first part describes the movement of the particles on the spinning disc (or vanes) until they leave the disc. By the end of the first part we know the kinematics and some more physics parameters of the discharging particles. Using these input data in the second, ballistic step, we obtain the landing positions of the particles on the soil. From the landing positions the mass distribution is predicted that can be further processed to estimate the quality of spreading (e.g. CV % of the transversal spread pattern).

Keywords: spinning disc, centrifugal spreader, fertiliser, computer modelling, discrete element method (DEM)

1. BEZETÉS

Európában a műtrágyaszórás több mint 90%-a a röpítőtárcsás műtrágyaszórókkal történik. Ennek magyarázata a szerkezetek egyszerűségében, megbízhatóságában és a kijuttatás egyenletességében, pontosságában rejlik. Ez utóbbi tényezők kívánnak javítani a precíziós mezőgazdasági alkalmazások jegyében. Tény, hogy nem csak a kijuttató gépezetek fejlődtek az utóbbi évtizedekben, hanem a berendezéseket hitelesítő mérési eljárások és a költséges beméréseket részben helyettesítő modell számítások is. Az elméleti számítások nem csak elősegítik a műtrágyaszórás fizikájának jobb megértését, hanem támpontot adnak újabb konstrukciók tervezéséhez, és esetleg on-line vezérelhető formában is lehetővé teszik a granulált tápanyag helyspecifikus kijuttatását.

2. A MODELLEZÉS ALAPJAI

Természetesen minden modellezési folyamat jelentős egyszerűsítésekkel illetve elhanyagolásokkal számol. Eltekintve a tárcskonstrukciók bonyolultsági fokától, a modellek közt a döntő különbség az ömlesztett anyag leírásmódjában van. Kezdetben egyrészecske modellt alkalmaztak [8] amelyben a szemcsék nem ütköznek egymással. A modellek fejlődése során a 90-es éveket követően az egyrészecske trajektóriákat változó kezdeti feltételekkel számolták [4, 7, 9, 10, 1, 2] és akár analitikus modellel [15] követték a magányos szemcsék mozgását. Érdekes módon ezek a modellek tendenciájukban leírják a kísérleteket – a fordulatszám, a lapáthossz, az adagolási hely, a súrlódási tényező stb. hatását illetően – azonban a kísérleti egyezéshez bizonyos paramétereket önkényesen módosítani kell a kísérletek reprodukálásához. A lényegileg egyrészecske modellek nem adnak számot a nagy tömegáram esetén bekövetkező változásokról, a részecskék összetapadásáról és ütközéséről, a lapáton történő változó mértékű csúszás és gördülés szerepéről, továbbá a lerepülő szemcsék jelentős pörgéséről. Mi az eddigi gyakorlatunkban „kvázi” egyrészecske modellt használtunk [3] oly módon, hogy a repített szemcséink fizikai paramétereit kísérletileg előre meghatároztuk (250 szemcsés sokaság) és a független (eltérő fizikai tulajdonságú) szemcsék pályáját külön-külön követtük.

3. A DISZKRÉT ELEMOK MÓDSZERE (DEM)

Az ömlesztett és granulált anyagok mechanikája távol áll a triviális problémától. A műtrágyaszóró adagolójában például mintegy 10^4 - 10^8 szemcse egyidejű jelenlétével kell számolni. A tárcsára ejtést követően a részecskék bonyolult módon ütköznek egymással és a röpitőtárcsa részeivel, mielőtt lerepülnek. Ilyen komplex jelenség leírására alkalmas lehet a sokrészecskés modellezés, amelynek során minden részecskét figyelembe vesznek a Newton-i mozgásegyenletek alkalmazásával. Ennek során „pillanatfelvételek” készülnek a részecskék kezdeti (helyzet és sebesség) feltételeiről, majd egy erőtvény modellt alkalmazva (a mozgásegyenletek integrálásával) egy rövid idő múltán újból meghatározzák a következő analízishez szükséges kezdeti feltételeket, és így tovább. A rokon, ún. molekuláris dinamika” (MD) módszert már régóta alkalmazzák a számítástechnikai kémiai és biológiai modellezésben. A számítástechnikai erőforrások javulásával az MD egyre sikeresebb „kísérleti” eszközzé vált.

A diszkrét elemek módszerét (DEM) a fizikában és az agrotechnológiában a kilencvenes évektől kezdték alkalmazni (pl. gyümölcsök szállítási károsodásának vizsgálatára). A mezőgazdaságban előforduló ömlesztett anyagok mechanikájának modellezéséhez [16] fejlesztették ki a DEMeter++ moduláris és fejleszthető programcsomagot. A modell lényeges része az ütközések kezelése és az ütközési erőtvények definiálása.

4. A MŰTRÁGYASZÓRÁS DEM MODELLEZÉSE

A röpitőtárcsás műtrágyaszóró DEM modell [5, 6, 13, 14] validálásához először egyrészecske szimulációkat végeztek, amit kísérletesen ellenőriztek és az analitikus egyszemcsés modell jóslásával is összehasonlítottak. A tárcsán mért kísérleti trajektóriák végül 5%-on belül egyeztek a DEM modell eredményével. A szemcsék 0.1 mm értékű benyomódásával számoltak az ütközéseknél, és 10 μ s időfelbontással számolták ki a részecskék változó térbeli eloszlását. Az analitikai modellben szereplő gördülési és csúszási súrlódási, valamint a centrifugális és Coriolis erőket a DEM modell mint átlagértékeket jól reprodukálta. Az derült ki, hogy a tárcsa felületén

mozgó szemcsék inkább csúsznak, míg a lapán mentén a csúszás és a gördülés közti átmeneti állapotok vannak. A kísérletileg vizsgált 27%N - ammónium nitrát szemcsék csaknem gömbszerűek voltak ($d=4.2\pm0.2$ mm, $m=85\pm15$ mg). A k_N szemcse keménységet lassú összenyomással mérték, míg a c_N csillapítási tényezőt acéllapra ejtésből (első visszapattnás) becsülték meg. Értékük azonban nem volt kritikus a szimulációk során. A szemcse/lapát dinamikus súrlódási tényezőt a lejtőn történő állandó sebességű halmaz csúszáshoz tartozó lejtőszögből mérték ($\mu = \tan\alpha = 0.35 \pm 0.15$). A kísérletekben 24.5 cm sugarú, vízszintes tárcsát forgattak $\omega=50$ rad/s szögsebességgel. Így a lapáttal párhuzamos lerepülési sebesség 9.7-10.7 m/s a $\mu = 0.7-0.1$ tartományban, azaz kisebb súrlódás nagyobb sebességet eredményez (mert kisebb a súrlódási veszteség). A lapáton gördülő szemcsék tányérra merőleges szögsebessége elérheti a 4700 rad/s értéket $\mu = 0.35$ súrlódás mellett. Ehhez képest elhanyagolható a tárcsán történő gördülés szögsebessége. Ezek az elméletileg nyert adatok igen érdekesek, mivel a ballisztikai pályát a szemcsék pörgése módosíthatja (pl. elhajított diszkosz, Magnus effektus).

5. PARAMÉTER ÉRZÉKENYSÉG VIZSGÁLATOK

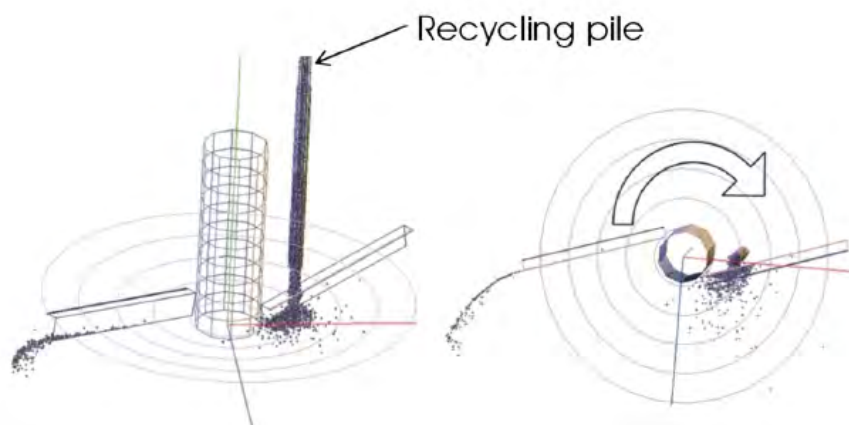
A DEM modellezéssel megvizsgálták, hogy a szórásképek milyen érzékenyek a műtrágyák fizikai tulajdonságaira [11, 12] Ebben az esetben egy 30 cm sugarú, kétlapátos, vízszintes tárcsát modelleztek. A betöltő nyílás 2 cm sugarú volt, és 7 cm-re helyezkedett el a tárcsa közepétől 10 cm magasságban. A tárcsát 52.4 rad/s szögsebességgel „forgatták”. Nem végeztek ballisztikai számítást; csak a tárcsáról lerepülő szemcséknek egy közeli henger mentén mérhető eloszlását határozták meg. A súrlódási tényezőket, a szemcse keménységet, a visszapattnási tényezőt, a tömegáramot és a szemcsesugarat tág határok közt változtatták. Ennek ellenére az átlagos lerepülési sebesség a szűk 18.7-20.7 m/s tartományban változott, tipikusan 1 m/s standard deviációval. A távozó részecskék szögsebessége eléri akár az $5-10 \times 10^3$ rad/s értéket is, hasonlóan az egyrészecske modellezésekhez.

Megállapították, hogy összhangban a klasszikus munkákkal [8] és [4] a szemcse súrlódási tulajdonságainak van a legnagyobb szerepe a szórásképek kialakításában. Továbbá azt találták, hogy minél inkább gömbszerű a részecske, annál kevésbé érzékeny a szórás az intenzívebb részecske áramlásra, ami akkor kritikus, ha erős a súrlódás a szemcsék és a lapát közt. Nagyobb adagolási sebességnél a szemcse és a lapát közti súrlódás szerepe fontosabbá válik és kiszélesedik a szórásképek. Mivel a szemcsesugár is befolyásolja a leválási szöget, (a nagyobb szemcsék hamarabb távoznak a lapátról) az eloszlás kiszélesedhet. A szemcsék keménységének és csillapítási tényezőjének viszont alig van jelentősége a számított eredményekben. Összegzésképpen azt lehet mondani, hogy a DEM szimulációk tendenciájukban egyeznek a kísérleti tapasztalatokkal. Azonban az eredményeket kellő óvatossággal kell kezelni, és érdemes megvizsgálni más kontakt erő mechanizmusokat is. A használatban lévő röpitőtárcsák jobb modellezéséhez figyelembe kell venni a betöltő nyílás tényleges alakját, a tárcsa konstrukcióját, a szabálytalan alakú részecskék összetapadását és a nehezen mérhető belső súrlódás szerepét.

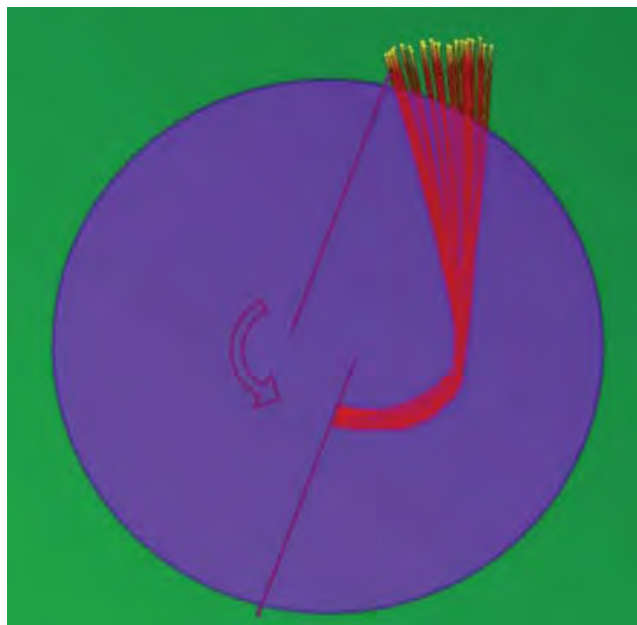
6. GYAKORLATI ALKALMAZÁSI PÉLDA

Egy, a gyakorlatban használatos tárcsával is végeztek DEM szimulációkat [12, 13]. Ennek a tárcsának (1., 2. ábra) a kúpszöge 9° , a sugara 29 cm, míg a lapát hossza 30 cm, a lapát magassága pedig 3.6 cm volt. A két lapát a sugárirányhoz képest hátra állított, amit egy 4.5 cm

sugarú belső körhöz való illesztés biztosít. A tárcsa fordulatszáma 300, 400, 500 illetve 650 ford/perc volt. A tárcsát a gyűjtő felületekhez képest 28 cm magasságban helyezték el. A számításokhoz az NPK műtrágya átlagos szemcsejellemzőit (μ , k_N , c_N) kísérletileg meghatározták. Az átlagos szemcseátmérő 1.26 ± 0.14 mm, míg a szemcsék sűrűsége 1.755 mg/mm^3 volt. Az adagoló kilépő nyílása 2.9 cm átmérőjű, ami 11 cm-el a tárcsa fölött a centrumtól 10 cm távolságban található. Az adagolóval 0.11 kg/s tömegáramot biztosítottak. A szemcsék mozgását az adagolóban majd a tárcsára érkezés során is szimulálták. A tárcsa közelében levő



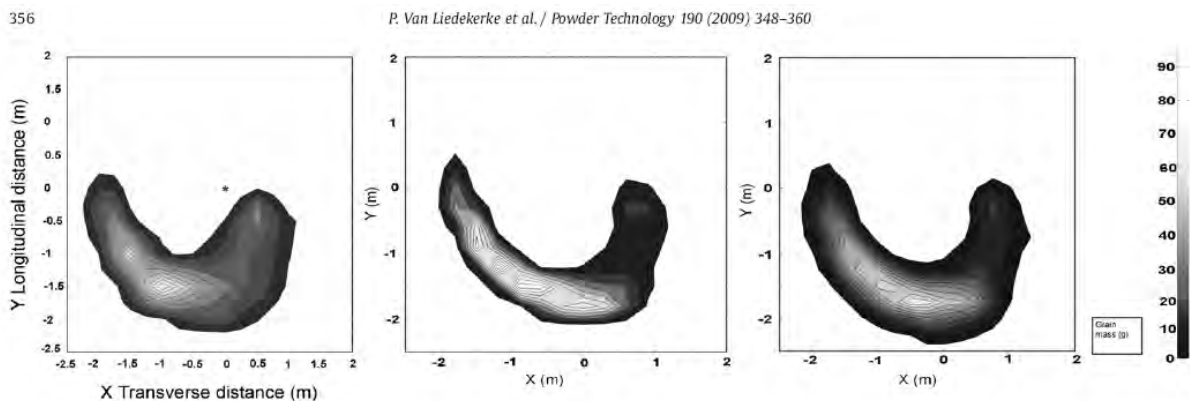
1. ábra Forgó röpitőtárcsára vezetett műtrágyaszemcsék (DEM modell). Forrás: [12]



2. ábra. Röpitőtárcsán mozgó szemcsék pályája. Forrás: [16]

hengerfelületen számolt jellemzők 10%-on belül egyeztek a kísérleti adatokkal 300 és 400 tárcsafordulatszám esetén, azonban magasabb fordulatszámon elérték a 20% különbséget. A

szemcsesebességgel lineárisan növekvő sűrűlási tényező önkényes bevezetésével ezeket a hibákat az 5% alá lehetett csökkenteni. A haladásra merőleges szórás képet gyűjtőedényekkel mérték meg. A DEM modellezésből nyert kezdeti feltételekkel végezték el a ballisztikai számításokat ($C_D=0.44$ alaktényező feltevésével). Az alacsony tárcsamagasságnak és a kis szemcseméretnek megfelelően a repítési távolságok rövidek (< 2.5 m), ezért a ballisztikából származó hibának kicsinek kellene lennie, ami nem teljesült. A ferde hajítás alapegyenleteiből kimutatható, hogy a szemcsék landolási helyét a lerepülési sebesség függőleges komponense erősen befolyásolja. Ha ezt a függőleges sebességkomponenst mintegy 5% mértékben randomizálják, akkor elérhető a 15% -nál kisebb eltérés a számított és a mért szórás kép között. Összegzésképpen az mondható el, hogy a DEM szimulációkkal meglehetősen pontossággal (5%) írhatók le a kísérletek a tárcsa közvetlen közelében, ha a lerepülési sebességek nem túl nagyok (< 10 m/s). A valós szórás kísérleteket jobban utánzó számolásoknál (3. ábra) azonban nagyobbak az eltérések számolt és a mért merőleges szórás képek között. Ennek egyik oka lehet az előbbi, ismeretlen eredetű függőleges irányú sebességfluktuáció, de a szabálytalan és a talajra merőleges tengely körül igen gyorsan pörgő szemcsék kifli alakú, hosszabb pályára kerülhetnek a repítés során. Ezt, az ún. „Magnus hatást” nem vizsgálták sem kísérletileg, sem elméletileg.



3. ábra. Műtrágyaszemcsék eloszlása a talajon. (a., mért, b és c., számított eredmények)
Forrás: [12]

7. A FEJLESZTÉSEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A közelmúlt kísérleti és modellezési fejlesztései röviden az alábbiakban foglalhatók össze:

- A tárcsa közelében megoldották a lerepülő szemcsék trajektóriáinak gyorsfényképezését illetve a stroboszkópos felvételét, amelyből a szemcsék lerepülési sebessége és iránya megállapítható. Az adatokat a ballisztikai szimulációkhoz kezdeti feltételként használva igen jó egyezést kaptak a kísérleti szórás képekkel.
- Nagyon kis helyigényű műtrágyaszóró bemérési módszert dolgoztak ki. Ennek az a lényege, hogy egyetlen rögzített szemcsegyűjtő sort alkalmaznak, és ennek a végén helyezik el a műtrágyaszórót. A teljes műtrágyaszóró szerkezet fokozatos körbeforgatásával térképezik fel a szórás képet polárkoordináta rendszerben, amit a szokásos derékszögű koordinát rendszerbe transzformálnak a haladásra merőleges szórás kép meghatározásához.
- A DEM számítógépes módszert ismertettük. Ez a sokrészecskes szimulációs módszer jelentős

számítógépes erőforrásokat igényel, de bizonyos korlátokkal meglehetősen jól jósolja meg a kísérleti eredményeket.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM:

- [1] **DINTWA, E., VAN LIEDEKERKE, P., OLIESLAGERS, R., TIJSKENS, E. & RAMON, H.** (2004). Model for simulation of particle flow on a centrifugal fertiliser spreader. **87**, 407-415.
- [2] **DINTWA, E., TIJSKENS, E., OLIESLAGERS, R., DE BAERDEMAEKER, J. & RAMON, H.** (2004). Calibration of a spinning disc spreader simulation model for accurate site-specific fertiliser application. **88**, 49-62.
- [3] **GINDERT-KELE, Á., HAGYMÁSSY, Z.** (2009). Röpítőtárcsás műtrágyaszóró: modell és mérési eredmények. MTA DAB Műszaki tudomány az Észak Alföldi Régióban 2009., 129-134
- [4] **HOFSTEE JW** : Handling and Spreading of Fertilizers. 5. The Spinning Disc Type Fertilizer, Spreader. Journal of Agricultural Engineering Research (1995) 62, 143-162.
- [5] **MALEKI, M. R., RAMON, H., DE BAERDEMAEKER, J. & MOUAZEN, A. M.** (2008). Study on the time response of a soil sensor-based variable rate granular fertiliser applicator. Biosystems Engineering, **100**, 160-166.
- [6] **MOSHOU, D., DEPREZ, K. & RAMON, H.** (2004). Prediction of spreading processes using a supervised Self-Organizing Map. **65**, 77-85.
- [7] **OLIESLAGERS, R., RAMON, H. & DEBAERDEMAEKER, J.** (1996). Calculation of fertilizer distribution patterns from a spinning disc spreader by means of a simulation model. **63**, 137-152.
- [8] **PATTERSON DE.-REECE AR.:** The theory of the centrifugal distributor I: Motion on the disc, near-centre feed. Journal of Agricultural Engineering Research (1962) 7, 232-240.
- [9] **REUMERS, J., TIJSKENS, E. & RAMON, H.** (2003). Experimental characterisation of the tangential and cylindrical fertiliser distribution pattern from a spinning disc: A parameter study. **86**, 327-337.
- [10] **REUMERS, J., TIJSKENS, E. & RAMON, H.** (2003). Experimental characterisation of the cylindrical distribution pattern of centrifugal fertiliser spreaders: towards an alternative for spreading hall measurements. **86**, 431-439.
- [11] **VAN LIEDEKERKE, P., TIJSKENS, E. & RAMON, H.** (2009). Discrete element simulations of the influence of fertiliser physical properties on the spread pattern from spinning disc spreaders. Biosystems Engineering, **102**, 392-405.
- [12] **VAN LIEDEKERKE, P., TIJSKENS, E., DINTWA, E., RIOUAL, F., VANGEYTE, J. & RAMON, H.** (2009). DEM simulations of the particle flow on a centrifugal fertilizer spreader. Powder Technology, **190**, 348-360.
- [13] **VAN LIEDEKERKE, P., PIRON, E., VANGEYTE, J., VILLETTE, S., RAMON, H. & TIJSKENS, E.** (2008). Recent results of experimentation and DEM modeling of centrifugal fertilizer spreading. Granular Matter, **10**, 247-255.
- [14] **VAN LIEDEKERKE, P., TIJSKENS, E., DINTWA, E., ANTHONIS, J. & RAMON, H.** (2006). A discrete element model for simulation of a spinning disc fertilizer spreader I. Single particle simulations. **170**, 71-85.
- [15] **VILLETTE S., COINTAULT F., PIRON E., CHOPINET B.:** Centrifugal Spreading: an Analytical Model for the Motion of Fertiliser Particles on a Spinning Disc. Biosystems Engineering (2005) 92, 157-164.
- [16] **TIJSKENS E., RAMON H., J. DE BAERDEMAEKER:** Discrete element modelling for process simulation in agriculture. Journal of Sound and Vibration 266 (2003) 493-514

„PARADIGMAVÁLTÁS” A MÉRNÖKKÉPZÉSBEN?
(A MÉRNÖK SZEREPE AZ EGÉSZSÉGES KÖRNYEZETHEZ VALÓ
ALKOTMÁNYOS JOGUNK ÉRVÉNYESÜLÉSÉBEN)

CHANGE OF PARADIGM IN ENGINEERS' TRAINING?
(THE ROLE OF ENGINEER IN ASSERTION OF OUR CONSTITUTIONAL RIGHT
TO HEALTHY ENVIRONMENT)

DR. BUJALOSNÉ dr. KÓCZÁN ÉVA

főiskolai adjunktus

DE MK Műszaki Menedzser és Vállalkozási Tanszék

beva@mfk.unideb.hu

Kivonat: Az emberi és állampolgári jogok körében helyezkedik el az egészséges környezethez való jog. Ennek a jognak az érvényesülése szoros kapcsolatban van a mérnöki munkával. A mérnök munkája bár a fizikai világra irányul, de munkájának a következmény ez élővilágra, ezen belül az emberi életre hat ki. A mérnöki erkölcs és felelősségérzet alapvetően meghatározza azt, hogy a munka következményei hogyan befolyásolják az egészséges környezethez való jogunk érvényesülését. A műszaki felsőoktatásban a jövőben erősíteni kell azoknak a tárgyaknak az oktatását (pl. filozófiatörténet, etika) melyek az emberszeretet, az életközpontú felelősség kialakulását eredményezik a leendő mérnökökben.

Kulcsszavak: Egészséges környezethez való jog, mérnöki munka, mérnöki felelősség, mérnöki erkölcs, szemléletváltás a mérnökképzésben.

Resume: The right to healthy environment belongs to human and civic rights. Assertion of that right is connected to profession of an engineer. Activity of engineer directs towards physical world but it influences on biological world and life of human beings as well. Morality and responsibility of engineer substantially determine the influences of engineering work on assertion of our right to healthy environment. It is necessary to reinforce the role of such subjects (history of philosophy, ethics) in higher educational technological training which evolve responsibility of common life in students of engineering.

Keywords: Right to healthy environment; engineering work; responsibility of engineer; morality of engineer; change of paradigm in engineer's training.

1. AZ „EGÉSZSÉGES KÖRNYEZET”MINT ALKOTMÁNYOS JOG

Az ember személyes szabadságjogai erősen természetjogi alapon állnak. Ez azt jelenti, hogy Istentől kapott jognak tartjuk őket, aki el is veheti ezeket tőlünk - betegség, baleset, megöregedés által. Isten illetve/vagy a természet ellen nem léphetünk fel, de a másik ember ellen, - aki szabad akarata alapján hozott döntései és cselekvései következtében embertársa természeti jogai ellen fordul – fel tudunk lépni. Erre való az állam. Az állam azzal, hogy korlátokat állít (háborúk elkerülése, alkotmányos és demokratikus eszközökkel belső zavargások és felkelések elkerülése, humanizált büntetési formák alkalmazása), védi a természeti jogaink közül a legfontosabbnak tartott jogunknak, az élethez való jognak az érvényesülését.

Az állami korlátozási egyik legfontosabb eszköze a jogi szabályozás.

Napjainkban az alapvető nemzetközi dokumentumok (1) és a nemzeti jogszabályok azt mutatják, hogy az alapvető személyi szabadságjogok nemzetközi és nemzeti szinten is védett jogtárgyak, tehát emberi jogként is, és állampolgári jogként is léteznek.

Az emberi jog minden embert megillet állampolgárságtól függetlenül, az állampolgári jog pedig egy konkrét állam polgárát megillető jog, amellyel ő abban az államban befolyásolni képes az állami szervek tevékenységét, így ezeknek a jogoknak a biztosítása egy konkrét

állam szerveinek a kötelessége.

A nemzetközi jog dokumentumaiban az "élethez való jog" védelme azon az értelmezésen alapszik, hogy önkényes megfosztással, törvényekkel védett szabályokat áthágva egyik ember a másik embert – mint egyedi értékű, testtel és tudattal rendelkező önálló individuumot – ne semmisítse meg, vagy tetteivel magzatnak az élethez való jogát kontrol nélkül ne vehesse el. Még az „emberi méltóság” jogát is szorosan hozzákapcsolták az élethez való joghoz.

Magyarországon az emberi élet és az emberi méltóság joga egyrészt emberi jogként, másrészt alkotmányunkban rögzített állampolgári, vagyis alkotmányos jogként is létezik. (2) Ez a helyzet az „egészséges környezet”-hez való joggal is (3), mely emberi jogként az utóbbi néhány évtizedben fogalmazódott meg, és a jogok harmadik nemzedékéhez sorolják.

Véleményem szerint ezeknek a jogoknak az eddigi értelmezését meg kell változtatni, ki kell az eddigi értelmezésüket tartalmilag szélesíteni. Eddig csak a halálbüntetés eltörlését, a kínzásmentességet, a kegyetlen, embertelen és megalázó büntetések és eljárások elkerülését, az orvosi és tudományos kísérleteknek hozzájáruláshoz kötését, környezetünk és a természet igénybevételének környezetvédelmi eszközökkel történő szabályozottságát értettünk alattuk.

Amikor az emberi élet és méltóság joga - alapvető emberi illetve természeti jogként – tartalmilag kiérlelődött (XVIII.- XIX. szd.), a filozófia adta meg alapvetően ezeket a tartalmakat, például John Locke filozófiája. (4) Ebben az időben a kapitalizmus termelési folyamata alapvetően nemzeti keretek között zajlott, a maihoz képest fejletlenebb technikai körülmények között. Jelenlegi világunkban azonban a termelési folyamatok súlyosabb és globálisabb hatásúak. Ez pedig a jogok alanyát, az embert már alapvetően biológiai lény mivoltában veszélyezteti. Így az ember elpusztulásakor ezek a jogok nemcsak tartalmilag korlátozódnak, hanem konkrétan és helyrehozhatatlanul megsemmisülnek. A magyar alkotmánybíróság is ezt az érvet használta, amikor a halálbüntetést eltörölte. (5) A jogok tartalmi szélesítésének az alapját tehát az embernek, mint biológiai létezőnek a hangsúlyozása adja meg. A filozófia jeles személyiségei között már volt olyan, aki ezt megtette. Ludwig Feuerbach szerint az embert nem, mint eszes és társadalmi lényt kell elsődlegesen definiálnunk, hanem mint hús-vér természeti lényt.

Alkotmánybíróságunk tagjai, akik szeretnek érveket hozni döntéseik megalapozásához a filozófia eszmetárából, még nem teljesen fogékonyak az ilyen megközelítésre. Ugyanis ha kiindulásnak az embert mint biológiai létezőt tekintjük, akkor meg kell változtatnunk a jogok egymáshoz való viszonyát. Az egészséges környezethez való jogot alanyi alapjogként kell kezelni, amelynek a jelentőségét az emeli, hogy az emberi életet és méltóságot megalapozza. Alkotmánybíróságunknak „Az egészséges környezethez való jogról” szóló határozatában pedig az olvasható, hogy ők nem tartják ezt a jogot alanyi alapjognak, de kimondják, hogy „a környezethez való jog az emberi élethez való jog érvényesülésének fizikai feltételeit biztosítja. Mindez a környezethez való jog jogalkotással való védelmének különös, más jogokéhoz képest fokozottan szigorú voltát követeli meg”. (6) Ez már egy köztes álláspontnak tekinthető, hiszen észreveszik, hogy ha a környezet állapota ártalmas az emberre, akkor az ember is elpusztul, és az elpusztult embernek méltósága sincs.

Úgy gondolom, hogy minden embernek egyenlő mértékben joga van ahhoz, hogy az a testi-lelki állapot, amellyel megszületett, mások súlyos környezetkárosító tevékenysége miatt ne romoljon, illetve ilyen ok miatt előálló súlyos betegségbe ne haljon bele. Nem gondolom tehát azt, hogy az ilyen hatást elszenvedő embernek az élethez való joga és emberi méltósága nem sérül.

E probléma boncolásakor nem felejtethetjük el azt sem, hogy az a személy, aki a környezetre súlyosan ártalmas cselekvést visz véghez, cselekvését általában saját előny biztosítása érdekében teszi, szabad akaratból indítja, és egyúttal megszegi a jelenlegi környezetjogi normákat is. Ilyenkor a jogi és az erkölcsi felelősség is felvethető. A jogi felelősség formáival

már foglalkoztam egy írásomban (7), az erkölcsi felelősség kérdését pedig ebben a dolgozatban elemzem. A jogi és erkölcsi felelősség kérdése mindig konkrét esetekben, közvetlen környezetünkben zajló cselekmények esetében merül fel. Ez egy viszonylag egyszerűbben megítélhető kérdés.

Sokkal bonyolultabb azonban a kérdés felvetése akkor, ha a környezeti ártalmat jelentős államok nemzetközileg is jelentős érdekcsoportjai extraprofit szerzési céllal idézik elő. Hiszen ők gyakran fejletlen országokba telepítik át a termelést, azért, mert ott kisebb terhelési határértékek vannak, vagy az államhatalom nem vonja kellően felelősségre a határértékek megszegőit. Más országok, illetve kontinensek embere ilyenkor nem ér annyit, mint a saját honfitársuk. Pedig minden ember egyenlőnek született, és joga van az emberi élethez. Ezt tartalmazzák a nemzetközi jogi dokumentumok és a nemzeti alkotmányok. Vagy mégsem? Vannak fokozatai az emberi életnek a Földön? Ezek épp az emberi méltóság fokozatait jelentik?

A környezetvédelem megerősödése azért történt, mert mindenki érezte, hogy a növekvő és globális termelés és szolgáltatás az egész emberiségre és egy konkrét földrajzi térség helyi népességére is óriási veszélyforrássá vált.

Nemcsak az állam és az emberi önkény jelent tehát veszélyt az emberi életre és méltóságra, hanem az is, ha egyes emberi cselekvések eredményeként előálló környezeti károsodás miatt valaki megbetegszik, vagy ilyen ok miatt kialakuló gyógyíthatatlan betegségbe belehal.

Nézetem szerint ezért be kell emelni az egészséges környezethez való jogunkat az emberi és állampolgári jogok sorába, és minden jog felé helyezve, alanyi alapjogként és a legfontosabb emberi jogként kezelni, mert az ember hús-vér biológiai lény.

2. A MÉRNÖKI TEVÉKENYSÉG

Iparosodott világunkban az értelmiségi csoportok közül a mérnök munkája kapcsolódik leginkább a termelés és szolgáltatás terén közvetlenül a környezethez. Ő az, aki megtervezi, előállítja, működteti és karbantartja a hatalmas és automatikusan működő gyárakat, irányítja az ásványkincsek kitermelését, neki köszönhetjük a mindennapokban használt közlekedési eszközöket, ő alkotja meg az épített környezetünk tárgyait is. Mindegy, hogy e fontos tevékenységeket munkaadóként, vagy munkavállalóként végzi. Egy biztos, hogy a technika az ő kezében van.

A technika a világban azt a célt szolgálja, hogy az ember a természet átalakítása segítségével megkapja azt, amire szüksége van, javakhoz jusson. Bár a technika az emberi fejlődés egyik záloga, az értékhierarchiában mégis az emberi élet és egészség értéke mögé kell helyeznünk.

„A mérnöki tevékenységnek az anyagi rész a fő eleme. A mérnök munkaasztalán kérlelhetetlen bíróként működik a természet.” - vélekedett nagyra becsült néhai mérnökkollégám. (8) Ő is látta azonban a lényegét, azt, hogy a technikával kapcsolatban lévő döntések és intézkedések, az alkotó tevékenységek mindig etikai döntések is, hiszen jelentős következményeik vannak a természeti környezetben, ezáltal jelentősen kihatnak az emberi életre. „Gyakran a gazdaságosságra hivatkozva tesznek kárt a természetben (pl. vizek szennyezése, erdők kivágása, természetvédelmi területek művelésbe vonása, veszélyes hulladékok szakszerűtlen tárolása, stb.), ami semmivel sem indokolható. A gazdaságosságra hivatkozás mögött gyakran az elvtelen haszonszerzés a motiváció.” Ez pedig szerintem csak mérnöki segédlettel valósulhat meg. A Mérnöki Kamara alapelvei között pedig az 1. §. szövege szerint az van megfogalmazva, hogy a mérnöknek hivatását úgy kell gyakorolnia, hogy közben az emberek biztonságát (ez az életbiztonságot jelenti), egészségét és jólétét, a természeti környezet és az emberek javainak ésszerű védelmét tekintse minden másnál

fontosabb feladatának. Hogyan kell ezt a normát értelmeznünk? Úgy, hogy a mérnök a társadalmi érdek erős kontrolja alatt követheti csak az egyéni érdekét. Pedig mennyivel egyszerűbb és olcsóbb a termelés folyamatában használt vagy képződő, a természeti környezetre káros és szennyezően ható veszélyes anyagokat eltüntetni az ellenőrzést végző szakemberek elől (például elásni a talajba)! Így a pillanatnyi egyéni érdekek miatt feláldozni a társadalom tagjainak hosszú távú érdekeit! A tisztességes mérnökökkel szemben is megfogalmazható az a kíváncsi, hogy szakemberként ne csak egyoldalú szakmai objektivitással végezzék munkájukat, hanem maximális társadalmi felelősséggel, aktivitással és tudatossággal dolgozzanak. Én ezt egyszerűen úgy fogalmaznám, hogy a mérnök tegyen a lehető legtöbbet az egészséges környezetért. Úgy gondolom, hogy a legnagyobb társadalmi költség az emberi élet és egészség sérülésének környezeti ártalom miatti orvoslása.

Sok mindennel mérhető egy gazdaság erkölcsi állapota. Az egyik mutatónak azt tarthatjuk, hogy milyen mértékben érvényesül a mérnöki munkában a felelősség. A felelősséget a környezetjog a környezethasználóra telepíti. A mérnök számára a környezet a munkájának a tárgya, nem csak civil életének színtere. Ezért vetődhet fel bennünk az a gondolat, hogy vajon tapasztalható-e kellő mértékben a mérnöki munkában az a felelősségtudat, hogy az ő kezükben van letéve a természeti környezetben élő ember fizikai léte, emberi méltósága, nagy szavakkal élve: az emberiség jövője.

3. A MÉRNÖK ÉS A FELELŐSSÉG

Nagyon sok mérnöktudós véleménye az, hogy a mérnökök erkölcsi tulajdonságai között az egyik fontos tulajdonságnak a felelősségérzetnek kell lennie. Nem csak azzal kell a felelősségérzet alapján tisztába lenniük, hogy jogi és erkölcsi értelemben hibáztathatjuk őket a véghezvitt cselekedeteikért, hogy a társadalom elvárja tőlük munkavégzésük során a szakmai szabályok maximális betartását, és azt, hogy merő társadalmi szolidaritás alapján képesek legyenek az egyéni érdeküket a közérdek mögé helyezni, hanem az is fontos, hogy vélemény-nyilvánításaik hitelt érdemlőek legyenek. Az erkölcsi erő nagyságát a vezető mérnökök tekintetében akár feléje is helyezik egyesek a szaktudásnak és az általános műveltségnek. Ezt tesz például a francia Guillet, vagy a magyar Pattantyús Ábrahám Géza (50% erkölcsi erő, 25% általános műveltség, 25 % szaktudás).(10)

Vizsgáljuk meg az ideálisnak tartott mérnökkel összevetve, milyenek napjainkban a hazai mérnökeink. Magyarországon 1989 óta - amikor a rendszerváltás kezdődött – több mint 20 év telt el. Most már nem lehet a szocialista erkölcsöt kritizálni, hanem a polgári erkölcs kritikáit jelentik azok a kritikák, amelyek mérnökeinkkel kapcsolatban megfogalmazhatók.

Meddig lehet elmenni az üzleti titok védelmében akkor, amikor a mérnök védi vállalata és munkahelye belső életének részleteit és esetleges titkait? Meddig lehet elmenni a munkavállalók életének, testi épségének a veszélyeztetésében költségtakarékosságra hivatkozva? Meddig lehet támogatni a munkáltatót, - aki inkább hajlandó bírságot fizetni mint környezetkímélő, szabálykövető megoldásokat alkalmazni, - a káros melléktermékek elhelyezésekor? Meddig lehet fő szempont az egyéni jövedelemszerzés maximálása olyan áron is, mint a kenőpénz elfogadása? Meddig lehet elveszteni az önálló gondolkodást, és elvtelenül behódolni a politikának, sőt a pártpolitikának? Meddig lehet a rövidtávú, kényszerhelyzetben hozott gazdasági döntések súlyos hatásait elhallgatva „csak szakemberként” végezni a mérnöki munkát? Meddig lehet felmentenie a mérnöknek magát a felelősség alól, arra hivatkozva, hogy „csak fogaskerek vagyok”? Meddig lehet etikátlan összefonódásban, vagy érdekellentétben, főállás melletti magánérdekeltségekben egyszerre gyakorolni a mérnöki munkát? Meddig lehet olyan mérnök kamarai tag, aki nem gátolta meg munkahelyén a technológiai fegyelem súlyos megsértését?

Az etika kiszorulása más tudományterületek esetében is megtörtént, nemcsak a mérnöki munka területén. Amartya Sen professzor szerint sem a gazdaságelméletben (közgazdaságtan), sem a gazdaság tényleges működésében nem lehet tovább elhallgatni azt, hogy az etikus cselekedeteknek a gazdaságban az a jelentőségük, hogy nagymértékben csökkentik a társadalmi költségeket, tehát mindazokat a hátrányokat, veszteségeket, amelyeket egy társadalomnak el kell viselnie. (11) Kornai János is utal többször arra, hogy a természeti környezet megóvása csak úgy lehetséges, ha tetteinkben etikai szempontok érvényesülnek. (12)

Úgy vélem, a mérnök munkájában is, ha a felelősségelemet erősíteni akarjuk, akkor az etikai elemeket is erősíteni kell. Ennek két fontos területe van, egyrészt szemléletváltásra van szükség a mérnökképzésben, másrészt a mérnöki gyakorlatban. Mivel a mérnöki gyakorlattal kapcsolatos kritikákat a dolgozatomban már megfogalmaztam, és az ezekkel ellentétes magatartás lehet a pozitívan előrevivő, dolgozatom hátralévő részében a mérnökképzés szemléletmódjának megváltoztatására tennék javaslatokat.

4. PARADIGMAVÁLTÁS A MÉRNÖKKÉPZÉSBEN

A rendszerváltás időszakában a felsőoktatásban is állandó reformálás történik. A képzés alapvetően képzési követelmények alapján zajlik, a tantervekben különböző modulok keretében vannak elhelyezve a szakmai, a társadalomtudományi, a gazdasági és a jogi tárgyak.

A műszaki képzést nyújtó intézményekbe mostanában a gyengébb képességű tanulók jelentkeznek, akik hallgatóként az „elégséges szemlélet” alapján végzik tanulmányaikat, vagyis csak a bennmaradáshoz szükséges követelmények teljesítését tűzik ki célul. Egyet kell értenünk Nagy Gézával abban, hogy így a hallgatókat már a felsőoktatásban is, mint leendő mérnököket a megalkuvás, a fásultság, közömbösség jellemzi, s ezek a negatív emberi tulajdonságok általában a munkába állás után sem változnak meg. (13)

Általában elmondható, hogy a társadalmi átalakulás nem tett jót az emberi erkölcsöknek, pedig az új szemléletű mérnökképzésben az alapot a felsőoktatási intézménybe bekerülő hallgató otthonról és más társadalmi közösségekből hozott morális alapja jelenti.

Ezeket a hallgatókat kell pontos, precíz, a szakmában szabálykövető mérnökké képezni a szakmai tárgyak oktatásával, jogkövető mérnökké tenni a jogi tárgyak oktatása során. A jogi tárgyak között a környezetjog oktatását be kell vezetni minden szakon. A környezetjog alaptörvényeit ismernie kell minden hallgatónknak, hiszen ezek a jogszabályok tartalmazzák azokat a magatartásformákat, amelyekre munkájuk során figyelniük kell, ha az egészséges környezet értékrendjükben alapértéket jelent (14) Ezekben a jogszabályokban azokat a szankciókat is megismerhetik, amelyek a felróható magatartás elkövetése után a felelősségre vonás során sújtja majd őket. Mindannyian tisztában vagyunk azonban a jog korlátozott szerepével és erejével. Az általános és egyedi prevenciót a jog is ismeri. A mérnöki munkában a prevenció abban áll, ha a munkavégzés során eleve nem kerül sor a környezettel és a természeti világgal kapcsolatban az állam által társadalmi érdekből veszélyesnek tartott és üldözendő cselekményre. Tudjuk, hogy az állam jelenlegi állapotában az állampolgárok nem félnek a szankcionáló államhatalomtól. Ezért van arra szükség, hogy hallgatóinkkal megértessük azt, hogy munkájukban, amely minden értelmiségi munka közül leginkább kapcsolódik a fizikai világhoz, az egyik legfontosabb motívum az erkölcsi motívum kell legyen. Óriási felelősség az, amit a többi ember iránt érezniük kell. Véleményem szerint ismét vissza kell térni a filozófiához, hogy segítsen kialakítani a mérnöki munkához szükséges erkölcsi normát. Sokat segíthet a mérnöki etika tárgya bevezetése is, ami a mérnöki munka konkrét példái segítségével mutat rá arra, hogy milyen fontos a mérnöki erkölcs.

A filozófia segítségével erősíteni kell az emberszeretet érzését, mint alapértéket. A humanista gondolkodók, így Immanuel Kant is (15) az embertársunkat mint célt jelölik meg számunkra, szándékos tetteink következménye nem okozhatja a másik ember természeti lény mivoltának súlyos károsítását. Vajon emberi lényként a cselekvéseinkben megnyilvánuló önérdékünk hogyan értelmezhető - teszi fel kérdést Fromm. (16) Mennyire szeretem önmagam, ha elpusztítom az embertársamat és a természeti környezetemet? Én elfogadom Hans Jonas felelősségre vonatkozó alapelvét. Jonas szerint a felelősség: más lények iránti törődés, beleértve az emberi személyek, természeti lények, és a jövő generációk sorsa iránti aggodást (17) A modern technika világában, a globális környezetszennyezés korában, a mérnök felelősségének is ilyennek kell lennie. Felelős tehát egy életközponitú erkölcsön alapuló mérnöki munkáért.

Mi pedig azért vagyunk felelősek, hogy az oktatási folyamatban bennük ezt az új szemléletet kialakítsuk!

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] EMBERI JOGOK EURÓPAI EGYEZMÉNYÉNEK 2. CIKKELYE , kihirdette az 1993. évi. XXXI. tv. POLGÁRI és POLITIKAI JOGOK NEMZETKÖZI EGYEZSÉGOKMÁNYA 6. CIKKELYE, kihirdette az 1976. évi VIII. tv. és az 1976. évi IX. tv.
- [2] A MAGYAR KÖZTÁRSASÁG ALKOTMÁNYA, 54.§. (1.), (2.)
- [3] A MAGYAR KÖZTÁRSASÁG ALKOTMÁNYA, 18.§. , 70/D.§. (1.) , (2.)
- [4] JOHN, LOCKE: Értekezés a polgári kormányzat igazi eredetéről, hatásköréről és céljairól. Gondolat Kiadó Bp.1986. 42-43.
- [5] 23/1990.(X.31.) AB. határozat: A halálbüntetésről; az élethez és az emberi méltósághoz való jogról.
- [6] 28/1994.(V.20. AB. határozat: Az egészséges környezethez való jogról.
- [7] BUJALOSNÉ KÓCZÁN ÉVA: Felelősségi formák a környezetjogban. Debreceni Műszaki Közlemények 2005/2. szám 17–25.
- [8] NAGY GÉZA: A mérnök és etikája. Kereskedelmi és Hitelbank Alapítvány RT. Universitas Alapítvány Db.1997. 109.o.
- [9] NAGY GÉZA: A mérnök és etikája. Kereskedelmi és Hitelbank Alapítvány RT. Universitas Alapítvány Db.1997. 110.o.
- [10] NAGY GÉZA: A mérnök és etikája. Kereskedelmi és Hitelbank Alapítvány RT. Universitas Alapítvány Db.1997. 24.o.
- [11] AMARTYA SEN: Néhány jelenkori társadalmi és gazdasági problémáról.(1993) In: Kindler J. és Zsolnai L.(szerk): A közgazdaságtan társadalmi és etikai vetületei. Bp Egyházforum Kiadó
- [12] KORNAI JÁNOS: Bürokratikus és piaci koordináció. Közgazdasági Szemle 1983.szept. 1025-1038.
- [13] NAGY GÉZA: A mérnök és etikája. Kereskedelmi és Hitelbank Alapítvány RT. Universitas Alapítvány Db.1997. 103.o.
- [14] 1995. évi. LIII. tv. :A környezet védelmének általános szabályairól. 1996. évi LIII. tv. : A természet védelméről.1999. évi. LXIX. tv: A szabálysértésekről.
- [15] THOMAS MORUS: Utópia Európa Kiadó Bp.1989.; IMMANUEL KANT: A gyakorlati ész kritikája. Gondolat Kiadó Bp. 1991.
- [16] ERICH FROMM: Önzés, önszeretet, önérdék In: Kindler J. és Zsolnai L.(szerk): Etika a gazdaságban, Kereban Kiadó Bp. 1993. 15-25.
- [17] HANS JONAS: The Imperative of Responsibility: In. Search for ethics for the Technological Age. University of Chicago Press 1984.

MATEMATIKA OKTATÁS MŰSZAKI PROBLÉMÁK SEGÍTSÉGÉVEL

TEACHING MATHEMATICS WITH ENGINEERING PROBLEMS

NAGYNÉ KONDOR Rita, Ph.D. **SZÍKI Gusztáv Áron, Ph.D.**

adjunktus, főiskolai docens
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar
rita@mk.unideb.hu sziki@mk.unideb.hu

Kivonat: A Debreceni Egyetem Műszaki Karán az utóbbi évtizedben számos „hagyományos” oktatási segédanyag, jegyzet készült, amelyek tételesen tartalmazzák a matematika tárgy anyagát. Az oktatás eredményességére való törekvés arra készítette a szerzőket, hogy a hagyományos szemlélettől elszakadva, a műszaki mechanika, elektrotechnika, hő- és áramlástan, fizika és közgazdaságtan tárgyak tematikájából néhány fontos alkalmazást beépítsenek a matematika előadások és gyakorlatok anyagába. Céljuk volt, hogy a példák valós műszaki problémákhoz kötődjenek, és hogy egy összefoglaló jegyzet szülessen az új szemléletben. A jegyzet első kötete már megjelent, tartalmát itt ismertetjük.

Kulcsszavak: matematikaoktatás, műszaki problémák, mérnöki alkalmazások

Abstract: In the last decade many traditional course book of mathematics were written at the Faculty of Engineering, University of Debrecen. These books have a traditional approach to the teaching of mathematics. By the experience of the education the authors made a decision: some important applications of mechanics, electro techniques, heat and convection, physics, and economics need to be built into the substance of the lectures and practices of mathematics. The aim of the authors was to attach the examples to real technical problems, and finally create a course book following the new approach. The first volume of the book is already available, the content of it is presented here.

Keywords: teaching mathematics, engineering problems, engineering applications

1. BEVEZETÉS

A magyarországi felsőoktatási intézményekben a mérnöki szakokon folyó matematikaoktatás az ismeretek átadásának és a témakörök kidolgozásának módszertanában lényegében ma is a klasszikus szemléletmódot követi.

Az utóbbi évtizedben a Debreceni Egyetem Műszaki Karán számos „hagyományos” matematikai oktatási segédanyag készült, amelyek tételesen tartalmazzák a matematika tárgy anyagát. Az oktatás eredményességére való törekvés most mégis egy újabb, de az eddigiektől merőben eltérő szemléletű matematika jegyzet írására sarkalta a szerzőket. Céljuk volt, hogy a műszaki mechanika, elektrotechnika, hő- és áramlástan, fizika és a közgazdaságtan tárgyak anyagából néhány fontos alkalmazást beépítsenek a matematika előadások és gyakorlatok anyagába, és végül egy, az új szemlélethez illeszkedő jegyzetet alkossanak.

A fenti szándékból született meg a „Matematikai eszközök mérnöki alkalmazásokban I.” című jegyzet, melyben szereplő példák tehát valós műszaki problémákhoz kötődnek. A jegyzet elsősorban azt hangsúlyozva, miért kell matematikai módszereket, fogalmakat tanulni, illetve, hogy hol, és hogyan alkalmazhatók ezek

2. MŰSZAKI ALKALMAZÁSOK

A „Matematikai eszközök mérnöki alkalmazásokban” című jegyzet 8 fejezete feladatcsoportokra tagolódik. Minden feladatcsoport elméleti összefoglalóval indul, amely az adott műszaki problémakör rövid, lényegre törő, szakmailag korrekt leírását adja. Ezt követi

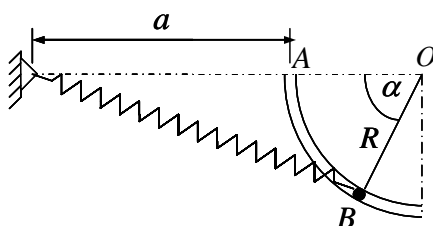
egy kidolgozott mintafeladat, majd gyakorló példák sora. A feldolgozott témakörök követik a tárgy természetes menetét, azonban az egyes fejezetek kidolgozásakor nem a matematikai fogalmak, tételek rendszerezett felsorolása volt a cél, hanem annak a műszaki vagy gazdasági problémakörnek a bemutatása, ahol az ismereteket a hallgatóknak későbbi tanulmányaik során alkalmazniuk kell.

A jegyzet főbb témakörei: Síkgeometria. Térgeometria. Vektoralgebra. Síkbeli koordináta geometria. Komplex számok. Mátrixok. Lineáris függvények, transzformációk. Lineáris egyenletrendszerek. Számolás. Valós függvények elemi tulajdonságai és ábrázolása. A továbbiakban három példát mutatunk be a „Síkgeometria” című fejezet „Síkbeli szerkezetek geometriai viszonyai (Műszaki mechanika)” feladatcsoportjából, a „Komplex számok” című fejezet „Számítások váltóáramú hálózatokban (Elektrotechnika)” feladatcsoportjából, és a „Lineáris egyenletrendszerek” című fejezet „Számítások egyenáramú hálózatokban (Elektrotechnika)” feladatcsoportjából.

1. Példa:

Egy kis golyó az ábrán látható negyed körív alakú pálya mentén mozoghat. Amikor a golyó a pálya felső, A pontjában van, a rugó megnyúlása nulla. Határozza meg a rugó megnyúlását az α szöggel jellemzett B pontban! (1. ábra)

Adatok: $\alpha = 30^\circ$, $a = 0,4\text{m}$, $R = 0,1\text{m}$.

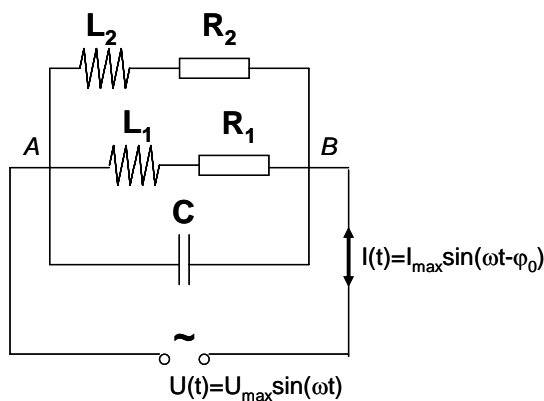


1. ábra.

2. Példa:

- Határozzuk meg a komplex, majd a valós impedanciát az alábbi váltóáramú hálózat A és B pontja között (2. ábra)!
- Határozzuk meg a φ_0 fázisszöget!
- Határozzuk meg a főágban folyó áramerősség effektív értékét!
- Adjuk meg, majd rajzoljuk fel az áramerősséget az idő függvényében!

Adatok: $U_{\text{eff}} = 220\text{V}$, $\nu = 50\text{Hz}$, $L_1 = 0,1\text{H}$, $L_2 = 0,15\text{H}$, $C = 5 \cdot 10^{-5}\text{F}$, $R_1 = 3\Omega$, $R_2 = 4\Omega$.



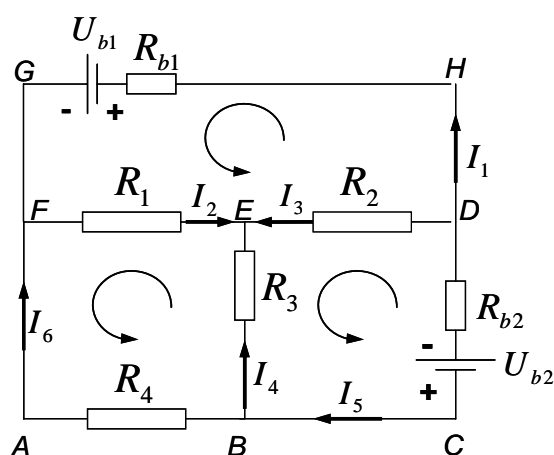
2. ábra.

3. Példa:

Az alábbi egyenáramú hálózatban az ellenállások értéke, továbbá a feszültségforrás belső feszültsége és ellenállása ismert (3. ábra). Három hurokban rögzítettük a pozitív körüljárási irányt, az egyes ágakban pedig a feltételezett áramirányt.

- Írjuk fel az A-B-E-F-A, B-C-D-E-B és D-E-F-G-H hurkokra a huroktörvényt, majd a D, E, F csomópontokra a csomóponti törvényt!
- Rendezzük az egyenletrendszert, és írjuk fel a kibővített mátrixát!
- Elemi bázistranszformáció vagy Gauss elimináció alkalmazásával határozzuk meg az ismeretlen I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , I_5 és I_6 áramerősségeket!
- Rajzoljuk be az ábrára a valódi áramirányokat!

Adatok: $U_{b1} = 20V$, $U_{b2} = 10V$, $R_{b1} = 2\Omega$, $R_{b2} = 3\Omega$, $R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 4\Omega$, $R_3 = 4\Omega$, $R_4 = 3\Omega$.



3. ábra

3. HALLGATÓI VÉLEMÉNYEK

Félév végén 91 hallgatóval végeztünk kérdőíves felmérést, véleményüket kérdezve a jegyzetünkről illetve a Matematika I. tárgy műszaki problémákkal támogatott oktatásáról.

A felmérés egyik kérdése arra vonatkozott, hogy a hallgatók mennyire tartják nehéznek a Matematika I. tárgyat a többi első féléves tárgyukhoz képest.

Az első félévben tanult tárgyai között a Matematika I.:

- a legnehezebb.
- a 3 legnehezebb között van.
- közepesen nehéz.
- az egyik legkönnyebb.
- a legkönnyebb. (4. ábra)

A felmérés alapján kiderült, hogy a hallgatóink 5,49%-a a Matematika I. tárgyat az első féléves tárgyai közül a legnehezebbnek, 50,55%-uk a három legnehezebb tárgyai egyikének tartja.

Kiderült továbbá, hogy a „Matematikai eszközök mérnöki alkalmazásokban” című jegyzetet 59,3%-uk könnyen érthetőnek, 96,7%-uk hasznosnak tartja a matematika megéréséhez és további tanulmányaihoz.



4. ábra A Matematika I. tárgy elhelyezése az első féléves tárgyak között.

4. ÖSSZEGZÉS

A valós műszaki problémákhoz kötődő példákkal támogatott matematikaoktatás bevezetésében és az ehhez kapcsolódó „Matematikai eszközök mérnöki alkalmazásokban” című jegyzet megírásakor főként a matematikaoktatás eredményességére való törekvés vezérelte a szerzőket. A matematika előadások, gyakorlatok ilyen módon történő felépítése nem a megszokott módon közelít a matematikai ismeretanyaghoz. Elsősorban azt hangsúlyozza, hogy miért kell matematikai módszereket, fogalmakat tanulni, illetve hol és hogyan alkalmazhatók ezek.

A műszaki mechanika, a fizika és a közgazdaságtan tárgyak tematikájából jónéhány fontos alkalmazást beépítettünk a matematika előadások és gyakorlatok anyagába, bízva abban, hogy ezen oktatási módszerrel, illetve a jegyzet használatával a hallgatók számára egyre világosabbá válik majd a szaktárgyak és a matematika közötti kapcsolat.

A 91 hallgatóval végzett kérdőíves felmérés alapján kiderült, hogy a hallgatóink 5,49%-a a Matematika I. tárgyat az első féléves tárgyai közül a legnehezebbnek, 50,55%-uk a három legnehezebb tárgyai egyikének tartja. A „Matematikai eszközök mérnöki alkalmazásokban” című jegyzetet 59,3%-uk könnyen érthetőnek, 96,7%-uk hasznosnak tartja a matematika megéréséhez és további tanulmányaihoz.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **GACSÁLYI, I., MEYER, D., MISZ, J., SIMONITS, ZS.**, Közgazdaságtan II. Makroökonómia, Nemzeti Tankönyvkiadó, 1994.
- [2] **KONYECSNY, F., PÁSZTOR, E.**, Műszaki Hő- és Áramlástan, I. kötet, Műegyetemi Kiadó, 2000.
- [3] **M. CSIZMADIA, B., NÁNDORI, E.**, Mechanika mérnököknek: Mozgástan, Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., 1997.
- [4] **M. CSIZMADIA, B., NÁNDORI, E.**, Mechanika mérnököknek: Statika, Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., 1996.
- [5] **M. CSIZMADIA, B., NÁNDORI, E.**, Mechanika mérnököknek: Szilárdságtan, Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., 1999.
- [6] **SOLTÉSZ, I.**, Elektrotechnika I., Nemzeti Tankönyvkiadó, 2001.

A SZERVEZETI KULTÚRA DIMENZIÓINAK KÜLÖNBSÉGE A REGIONÁLIS ÖNKORMÁNYZATOKNÁL

THE DIFFERENCE OF THE ORGANISATIONAL CULTURE'S DIMENSIONS IN THE REGIONAL GOVERNMENTS

MATKÓ Andrea Emese

Debreceni Egyetem Műszaki Kar
Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék
4028 Debrecen, Óttemető u. 2-4.
matkoandrea@gmail.com

Kivonat: Ezen tanulmány az Észak – Alföldi Regionális Önkormányzatok szervezeti kultúrájába nyújt betekintést, a régió SWOT-analízisével, a GLOBE kérdőív ismertetésével és a vezetés és a szervezeti kultúra kapcsolatán keresztül.

Kulcsszavak: Régió, önkormányzat, GLOBE kérdőív, vezetés

Abstracts: The organizations have to respond for the economical crisis of the XXI. century. The method and speed of response became the key of survival. The key to survival lies in its effectiveness and organizational culture. The organizational culture assessment of the local governments is interesting, because this area was little studied. The government also anticipates the specific organizational structure of the specific organizational culture.

Keywords: region, local governments, GLOBE questionnaire, leadership

1. AZ ÉSZAK – ALFÖLDI RÉGIÓ



1. kép Az Észak – alföldi Régió¹

¹ www.eszakalfold.hu

Az Észak – alföldi Régió fekvését tekintve Magyarország északkeleti részén helyezkedik el, Szlovákiával, Ukrajnával és Romániával határos. Területe 17729 km², amely az ország területének 19,1 %-t teszi ki, a lakosságnak pedig a 15,3 %-a él itt, azaz 1,56 millió fő (KSH, 2001). A Régiót Hajdú-Bihar, Szabolcs-Szatmár-Bereg és Jász-Nagykun-Szolnok megyék alkotják.

Erősségek	Lehetőségek
<ul style="list-style-type: none"> • kiemelkedő feltételek a mezőgazdasági termeléshez • alkalmas természeti környezet az egészség- és sportturizmus fejlesztéséhez • fejlett felsőoktatási rendszer alakult ki • magas számú képzett munkaerő • a fő transz-európai közlekedési hálózatokon való elhelyezkedés • kiemelkedően gazdagtermészeti kincsek és tartalékok • a regionális Kutatás+Fejlesztés intézményhálózat jelentősége 	<ul style="list-style-type: none"> • a befektetők érdeklődésének növelése az Észak-Alföldi Régió mint befektetési cél iránt • az együttműködés erősítése a felsőoktatási intézmények és a Kutatás+Fejlesztés intézeti hálózaton alapuló vállalkozások között • a kulturális – szociális kapcsolatok erősítése Romániával és Ukrajnával, a határon túli etnikai magyar kisebbséggel tartott kapcsolatokra alapozva • a hazai és nemzetközi idegenforgalom növelése • a rendelkezésre álló megújuló természeti kincsek számottevő mennyisége • kedvező közlekedési elhelyezkedés
Gyengeségek	Veszélyek
<ul style="list-style-type: none"> • a régió egyes területeinek rossz az elérhetősége • a régió néhány területén a munkanélküliség szintje magas • a magas képesítéssel rendelkező szakemberek elvándorlása • a különösen hátrányos csoportok magas koncentrációja (főleg a roma népesség) • a vidéki területek magas aránya • magas régióon belüli különbségek alacsony • A helyi vállalkozások tőkeereje alacsony 	<ul style="list-style-type: none"> • a régiót elkerülő autópálya-építési projektek folytatódna • a régió egyes területeinek gazdasága romlik • a társadalmi válság mélyül • nő a munkanélküliség • árvíz és folyó szennyezési kockázatok

1. Táblázat Észak–Alföldi Régió SWOT elemzése

2. A GLOBE KÉRDŐÍV

A GLOBE projekt 1991-ben indult, Robert House ötlete alapján, aki azt a célt tűzte ki maga elé, hogy feltárja a nemzeti és szervezeti kultúrák, illetve a vezetés közti kapcsolatot (House, 2004). A kezdeti célkitűzések folyamatosan bővültek, mind a kérdéseket mind pedig a projekt tartalmát és méretét tekintve [1].

A GLOBE 62 kultúrát vizsgál. A kutatásban közel 170 nemzetközi szakember vesz részt, a GLOBE Koordinációs Team és Robert House professzor irányításával.

A kérdőív a társadalmi kultúra, a szervezeti kultúra és a leadership jellegzetességeit vizsgálja.

A kérdőív a kultúradimenziók szintjén ragadja meg a kultúrát. A kérdőív ezen dimenziókat mind a szervezeti mind pedig a társadalmi kultúrára relevánsnak tekinti. A kultúrák megnyilvánulásának két aspektusát méri a kérdőív minden egyes dimenzió esetében: a közösségek gyakorlatát (ahogyan a dolgok vannak a szervezetben) leíró változókkal, és a közösségek elvárt értékeit (ahogyan a dolgoknak lenniük kellene a szervezetben) normatív változókkal [1].

A mért dimenziók megegyeznek Hofstede dimenzióival. A kérdőív megbízhatóságát próbatesztek során ellenőrizték, melynek legfőbb célja az volt, hogy igazolhassák, hogy a kérdőív dimenziói Hofstede dimenziói. A tesztelés során jelentkező tapasztalatok alapján kilenc dimenziót állítottak fel a kezdeti hat helyett [2].

A kérdőív által mért dimenziók a következők:

1. **Bizonytalanságkerülés:** annak a mértéke, hogy az adott kultúrához tartozó emberek mennyire érzik fenyegetőnek az ismeretlen helyzeteket, valamint az előrejelezhetőség iránti igénytel van kapcsolatban. Azt mutatja, hogy a szervezet hogyan birkózik meg a változásokkal együtt járó bizonytalansággal, mennyire viselik el a rosszul strukturált helyzeteket.
2. **Férfias – nőies értékek:** a férfiasság olyan kultúrákra jellemző, amelyek határozottan különbséget tesznek a nemekre jellemző társas szerepek között. A bátorságot, a merészséget, a kemény, hatékony, szigorú viselkedést igénylő szerepeket a férfiaknak tartják fenn. A nőiesség azokra a társadalmakra vonatkoztatható, ahol a férfias és nőies szerepek közötti átjárhatóság nagy, mind a férfiatól, mind a nőtől elvárják a mérsékletet, a tapintatosságot, a támogatást.
3. **Jövőorientáció:** annak a mértéke, hogy mennyire fontosak a szervezetben a hosszú távú tervek, célok, a kutatásba – fejlesztésbe, a szakmai fejlődésbe történő befektetés.
4. **Hatalmi távolság:** annak mértéke, hogy a szervezet kisebb hatalmú tagjai mennyire fogadják el a hatalom egyenlőtlen eloszlását. A magasabb értékek az egyenlőtlenség nagyobb elfogadottságára utalnak, amely autokratikusabb vezetésfelfogást jelenthet, míg az alacsony értékeket mutató szervezetekre a kisebb egyenlőtlenségek és a partícipatívabb vezetésfelfogás jellemző. Lényege a dominancia, a nagyobb hatalommal rendelkezők kontrollja, ami könnyen összetéveszthető a szabályozottságra való törekvéssel, melynek célja a bizonytalanság csökkentése.
5. **Individualizmus – kollektívizmus:** szervezeti szinten az individualizmus a független munkavégzésben, az elismerésért való versengésben, a társas kapcsolatok hiányában jelenik meg. A kollektív kultúra jellemzői a csapatmunkában, a versengés alacsony

fokában, a konszenzusos döntéshozatalban, a kooperáció magas fokában mutatkozik meg.

6. **Individualizmus – kollektivizmus:** annak mértéke, hogy az egyén mennyire integrálódik szűkebb vagy tágabb közösségekbe. Az egyén mennyire érez büszkeséget, lojalitást és összetartozást a szervezetben, ahová tartozik.
7. **Asszertivitás:** annak mértéke, hogy az egyének mennyire asszertívak, mennyire konfrontálódnak és mennyire agresszívak a másokkal való kapcsolataikban.
8. **Humán orientáció:** szervezeti szinten a humán orientáció a méltányosságban, a jó munkafeltételekben, a munkatársak jólétére fordított erőfeszítésekben figyelhető meg. Alacsony szintje a büntető és kizsákmányoló jellegű vezetői magatartásban, érdekeik figyelmen kívül hagyásában jelenik meg.
9. **Teljesítményorientáció:** lényege a kiválóságra, kemény munkára, nem túl nagy kockázatra és rendszeres visszacsatolásra való erőteljes törekvést jelenti. Az ilyen kultúrákban a megelégedettség forrása maga a munka [2], [3].

A fenti dimenziókat a kérdőív hétfokozatú skála segítségével méri, illetve a dimenziókat négyfajta előfordulásukban méri: jellemző társadalmi gyakorlatként (39 item), elvárt társadalmi értéként (39 item), jellemző szervezeti gyakorlatként (34 item), elvárt szervezeti értéként (41 item).

3. AZ ÉSZAK–ALFÖLDI RÉGIÓ ÖNKORMÁNYZATAIRÓL

Az Észak–alföldi Régiót alkotja Szabolcs-Szatmár-Bereg, Hajdú-Bihar és Jász-Nagykun-Szolnok megye. Ezen megyék számos önkormányzata vállalkozott arra, hogy középvezetőivel kitölteti a GLOBE kérdőívet.

Az önkormányzatok A, B, C kategóriába lettek sorolva a lakosság szám alapján. Az A kategóriába kerültek a megyeszékhelyek (Debrecen, Nyíregyháza, Szolnok). A B kategóriába a 6.000 – 17.000 fős lakosságot számláló települések (Berettyóújfalu, Püspökladány, Létavértes). A C kategóriába pedig az 1.000 – 3.000 fős lakossággal rendelkező települések (Nyírcsászári, Bagamér, Nyírgelse).

4. A VEZETÉS ÉS A SZERVEZETI KULTÚRA KAPCSOLATA

A szervezeti kultúra és a vezetés kapcsolatával Schein foglalkozik behatóbban. Schein szerint a vezetés legfontosabb feladata a szervezeti kultúra kialakítása és fenntartása. A szervezeti kultúra három forrásból alakul ki: a szervezetek alapítóinak hiedelmeiből, értékeiből és előfeltevéseiből, a csoport által megtapasztalt eseményekből, az új szervezeti tagok és vezetők által hozott hiedelmekből, értékekből és előfeltevésekből [1], [4].

A szervezeti kultúrát a szervezet alapításakor a vezető alakítja ki, de önmagában kevés, ugyanis szükség van egy olyan csoportra, akik az új értékeket, az új kultúrát terjesztik. Az alapítók ezt a csoportot befolyásolják a leginkább, abban a folyamatban, amelynek során a csoport a külső körülmények változásaihoz alkalmazkodik, illetve megoldja belső integrációs problémáit [1], [4].

A szervezetek létrejöttével tehát kezdetét veszi a vezetői munka és ezzel együtt a szervezeti kultúra kibontakozása. Csepeli György szerint a szervezeti kultúrát kezdetben

kimondottan a vezető véleménye, nézetrendszere, értékválasztása, sztereotípiái alakítják ki és formálják. Ezek jelentenek cselekvési mintát. A szervezet bővülésével viszont és személyi összetételének változásával a hierarchizáltság egyre magasabb fokával ez a szervezeti kultúra is változik. Mégis a vezető értékdeklarációja, munkamorálja lesz az, amely stabil magatartási alapot jelent a szervezetben dolgozók számára. Személyén áll vagy bukik, hogy mennyiben sikerül a saját preferenciáit elfogadtatni. Rajta múlik, hogy mennyire alakul ki egy közös értékrend, egy közös szervezeti kultúra, amely az egész szervezet számára stabilitást, közös identitást ad. Ez a szervezet sikerességének a záloga.

A sikeres szervezetek működésének és alkalmazkodóképességének a titka, egy a vezetésből kiinduló és a dolgozók értékeiben, munkájában mélyen gyökerező szervezeti kultúra. Ezek felderítése, valamint tudatos alakítása, fejlesztése már közép, de különösen hosszú távon erős szervezeti identitást és csoportkohéziót eredményez. Ennek szükségességét a mai piaci, gazdasági környezetben nem lehet eléggé hangsúlyozni.

5. ÖSSZEGZÉS

A szervezeti kultúra ismerete nagyban hozzájárul egy szervezet identitásának kialakításához, megerősíti a szervezetben dolgozók magatartását, értéktöbbletet ad a szervezetnek, így az sikeresebb lesz, akár a non-profit, akár a for-profit szervezeteknek.

Abban a szervezetben, ahol a szervezeti kultúra jelen van, nem jelent gondot a kihívásokra való gyors reagálás. A XXI. század gazdasági válságára a szervezeteknek reagálni kell. A reagálás módja és gyorsasága azonban a túlélés záloga lett. A túlélés záloga pedig a szervezeti kultúra hatékonyságában rejlik. A szervezeti kultúra megismeréséhez, feltárásához a munkavállalók viselkedése, értékpreferenciája, egyéni kulturális háttere (úgy mint nemzeti, vallási) nélkülözhetetlen a szervezet egésze számára.

A szervezeti kultúra vizsgálata az önkormányzatoknál azért érdekes, mert ezt a területet kevesen vizsgálták. Az önkormányzatok sajátos szervezeti felépítése is előrevetíti sajátos szervezeti kultúrájukat. Ezen szervezetek azonban nagyon zártak és igen kevés betekintést engednek világukba.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] KARÁCSONY, A., A leadership, a szervezeti kultúra és kapcsolatuk jellegzetességei a magyar szervezetek esetében, PhD értekezés, Budapest, 2006
- [2] HOUSE, R.J – JAVIDAN, M. – DORFMAN, P.W., A National Summary of GLOBE Findings. In: House, R.J. et. al. (etc.): Culture, Leadership and Organizations – The GLOBE Study of 62 Societies. Sage Publication, London 2004
- [3] MÁLOVICS, É. A szervezeti kultúra kutatása Dél-Magyarországon. Versenyképesség-Regionális versenyképesség. Szeged, 2000. (pp.157-169)
- [4] SCHEIN, E.H., Organization Culture and Leadership, Jossey Bass, San Francisco C.A., 2004

GENETIKUS ALGORITMUS ÉRZÉKENYSÉGVIZSGÁLATA

SENSITIVITY ANALYSIS OF A GENETIC ALGORITHM

OLÁH Béla

főiskolai adjunktus

Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás
olahb@mfk.hu

Kivonat: A cikk célkitűzése egy általam már korábban elkészített és publikált permutáció flow-shop termelésütemezési feladatokat megoldó genetikusan algoritmus (GA) érzékenységvizsgálata. Dolgozatom az algoritmus által használt különböző genetikusan operátorok (klónozás, keresztezés és mutáció operátor) egymáshoz viszonyított arányainak vizsgálatára terjed ki a megoldások optimum-közelében hatékonyságának függvényében, illetve különböző paraméter-érzékenységvizsgálatok elvégzésére, esetemben a kiválasztási stratégiák módosítása által adott eredmények összehasonlítására. Témaválasztásom gyakorlati jelentőségű eredménye annak kiderítése lesz, hogy milyen arányban érdemes az egyes genetikusan operátorokat használni, a minél hamarabbi és minél inkább optimum-közelében megoldások szolgáltatása végett.

Kulcsszavak: genetikusan algoritmus, kiválasztás, klónozás, keresztezés, mutáció

Abstract: The main goal of this scientific work is the sensitivity analysis of my own genetic algorithm for permutation flow-shop scheduling problem. This paper covers the analysis of the proportion of the different genetic operators (cloning, crossover and mutation operator) used by the algorithm and the comparison of the results given by choosing of the different selection strategies in function of the efficiency of the near optimal solutions.

Keywords: genetic algorithm, selection, cloning, crossover, mutation

1. A FLOW-SHOP ÜTEMEZÉSI PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

Adott n számú termék, melyeken m számú különböző munkafolyamatot kell elvégezni. A technológiai útvonal, ami az összes termékre nézve azonos, valamint a műveleti idők előre adottak. Meg kell határozni a termékeknek azt a sorrendjét a gépeken, mely bizonyos előre megadott szempontok szerint optimális. Ilyen célfüggvények az alábbiak lehetnek:

- minimális átfutási idő;
- technológiai berendezések maximális kihasználása (hótidők minimálása);
- minimális gyártásközi készletek (termékek állásidejének minimálása).

2. A GENETIKUS ALGORITMUS ISMERTETÉSE

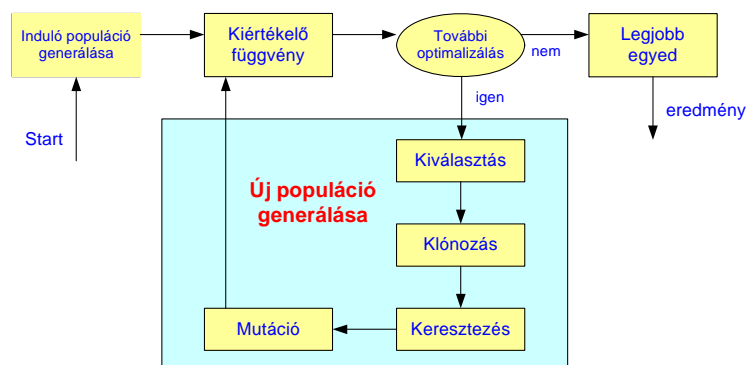
A genetikusan algoritmus [2] lényege, hogy rendelkezik a lehetséges megoldások egy populációjával, a populáción értelmezett a kiválasztási folyamat – amely az egyedek alkalmasságán alapul – és értelmezett néhány genetikusan operátor (1. ábra).

A szelekció nem az egyedeken, hanem a populációkon működik. Legismertebb fajtái:

- véletlen (random) kiválasztás: a legegyszerűbb, ámde a legkevésbé hatékony szelekció. Gyakorlatilag az aktuális populációból véletlenszerűen választ szülőket. Legnagyobb hátránya, hogy nem veszi figyelembe azt a darwini alapelvet, miszerint a rátermettebb egyedek nagyobb eséllyel érvényesülnek az egyedlétrehozásban;
- rulett-kerék (roulette wheel selection) kiválasztás: az egyik legrégebbi, és leginkább használt szelekciós operátor. Egy egyed kiválasztásának valószínűsége annál magasabb, minél nagyobb a rátermettsége a populáción belül (rátermettség-arányos szelekció). A

rulett-kerék kiválasztás úgy működik, mintha az egyedeket egy rulett-kerék cikkelyeihez rendelnénk, ahol a cikkelyek nagysága a fitness értékkel arányos. Ahol a „golyó” megáll a pörgetés után, az az egyed kiválasztásra kerül;

- legjobb egyed (best selection) kiválasztás: fitness érték alapján sorbarendezzük az egyedeket, és az első k darabot választjuk ki.



1. ábra A genetikus algoritmus folyamatábrája [5]

A genetikus algoritmus is – mint oly sok más a tudományban – a természettől kölcsönzött ötlet alapján működik [1]. Az életben évmilliók során kialakulnak azok az egyedek, amelyek legjobban alkalmazkodtak az élőhelyükhöz, amelyek fennmaradása biztosított. Ezek az egyedek genetikus állományukat – és ezzel jó tulajdonságaikat – továbbadják utódaiknak, biztosítva ezzel a populáció fennmaradását. Néha mutációk – véletlenszerű változások – adódnak a genetikus állományban. Az új egyedekben új tulajdonságok jelennek meg, amelyek vagy jobbak az eredetinél – és így az egyedek életben maradnak, tovább örökítve jó tulajdonságaikat –, vagy rosszabbak, s így elpusztulnak. Ezt a folyamatot próbáltam átírni számítógépre a termelésütemezési problémák megoldására.

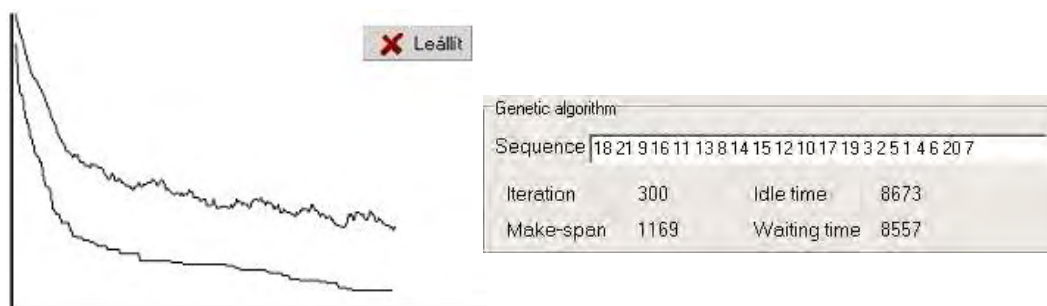
3. A SZÁMÍTÓGÉPES PROGRAM BEMUTATÁSA

A program felhasználói felületén a dialógusablakban a konstans jellegű paraméterek találhatók. Először beállítjuk a megmunkálni kívánt termékek, valamint a megmunkáló berendezések mennyiségét. Ezután a genetikus algoritmushoz szükséges alapadatokat állíthatjuk be tetszés szerint (populáció mérete, iterációk száma, a keresztezés, a mutáció és a klónozás aránya, kiválasztási stratégia). Az első fejezetben is említett optimalizáló célfüggvényt a megfelelő választógomb bekapcsolásával választhatjuk ki.

A genetikus algoritmus esetében egy kromoszóma a termékek tetszőleges sorrendjét jelenti, ez lesz az adatok helyes reprezentációja. A kiválasztódást alapbeállításban egyszerű fitness szerinti rendezéssel oldom meg, és a magasabb fitnessszel rendelkező egyedeket választom ki, de lehetőség van véletlenszerű, illetve a rulett-kerék mechanizmusnak megfelelő kiválasztásra. A GA megírása során két keresztezést alkalmaztam, úgymint a *Cycle-Crossover (CX)* és az *Order-Crossover (OX)*. A program során a *reciprocal exchange*, a *simple inversion*, a *swap* és a *displacement* mutációkat használtam fel. Kiértékeléskor a maximális út megkeresésére alkalmas Bellmann-Pontrjagin-féle optimalizálási elvre épülő általam kidolgozott algoritmusba [3] történik a behelyettesítés.

Genetikus algoritmus segítségével megoldva egy feladatot az iteráció előrehaladtával a grafikonon nagyon szépen nyomon követhető a legjobb egyed célfüggvény szerinti értéke valamint a populáció átlagértéke is (2/a. ábra). A legjobb egyed piros színnel (alsó görbe), míg az átlagérték kézzel (felső görbe) szerepel a grafikonon a jobb követhetőség érdekében.

Mivel előfordulhat, hogy egy szülőt alacsonyabb fitness-értékű utód helyettesít, így a populáció átlagértéke emelkedhet is. Ezzel szemben a legjobb egyed fitness-értéke monoton csökkenő függvényként ábrázolható.



2. ábra A genetikus algoritmus futási eredménye

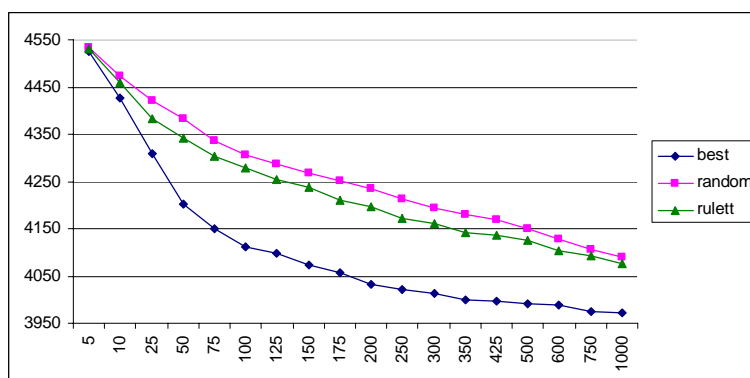
Az információs ablakban (2/b. ábra) az algoritmus futása közben folyamatosan kiírásra kerül az aktuális iterációk száma, valamint a legjobb egyedhez tartozó átfutási-, holt- és állásidők egyaránt. Az iterációk befejeztével megjelenik a legjobb egyedhez tartozó sorrend is. Az iteratív működés következtében több időre van szükségünk egy optimálishoz közeli megoldás eléréséhez, mint más heurisztikus esetben, viszont lényegesen jobb eredmény érhető el. A feladat fitness-értékeit ábrázoló grafikonon megfigyelhető, hogy a GA végül olyan állapotba jutott, amelyben mind a legjobb individuumban alkalmasság-értéke, mind pedig a populáció átlagos fitness-értéke a kezdeti rohamos javulás után beállt. A generációk számának növekedésével a legjobb egyed átlagos fitness-értéke egyre jobban megközelíti az optimális értéket, amely a vizsgált paraméterterben egy többé-kevésbé erős konvergenciát mutat. A programban lehetőség van a genetikus algoritmussal történő optimalizálás leállítására a leállít gomb megnyomásával. Ilyenkor a program megerősítést kér a felhasználótól az optimalizálás megszakítására. Az igen elfogadása után az információs ablakba kiíródnak az addig előállított legjobb egyed adatai. A nem gombon kattintva a közelítés tovább folytatódik a kívánt iterációig vagy egy újabb leállításig.

4. VIZSGÁLATAIM

Korábbi vizsgálataim során, amikor is az egyes termelésütemezési feladatokat megoldó módszerek hatékonyságát hasonlítottam össze, a genetikus algoritmus paraméterei alapbeállításon szerepeltek a futtatások alatt. Már akkor is felvetődött a kérdés, vajon hogyan módosul a GA hatékonysága az egyes beállított értékeinek megváltoztatása által. Ezen dolgozat ennek megválaszolását tűzte ki célul.

Ahogy az egy-egy futtatás alatt – a program által kirajzolva – is látható az iterációk növekedésével a legjobb egyed monoton csökkenő értékeket vesz fel, tehát fejlődik. Természetesen egyazon (esetemben 20 gépes, 25 termékes) permutáció flow-shop termelésütemezési feladatra többször elvégezve a vizsgálatot hasonló görbét kell kapnunk. A 3. ábrán feltüntetett iteráció-számok mindegyikére 30-szor lefuttatott genetikus algoritmus által szolgáltatott célfüggvény (jelen esetben holtidő) értékek átlagai a populáció méretének (150) változatlanul hagyása mellett 4%-os klónozást, 16%-os mutációt és 80%-os keresztezést használva a három különböző szelekciós operátor esetén a következőképpen alakultak. A grafikon alsó görbéje már egy másik publikációban [4] is bemutatásra került, és már akkor felmerült vajon hogyan módosulnak a kapott eredmények a különböző kiválasztási stratégiák alkalmazásával. Ezen az ábrán a program által kezelt mindhárom kiválasztási szisztémára (best, random, rulett) lefuttatott eredményeket ábrázoltam, ezzel is szemléltetve, hogyan

változnak a holtidő-értékek, ha nemcsak a legjobb egyedeket választom ki szülőkné, hanem a rulett-kerék szelekciót, vagy a random kiválasztási stratégiát alkalmazom éppen.



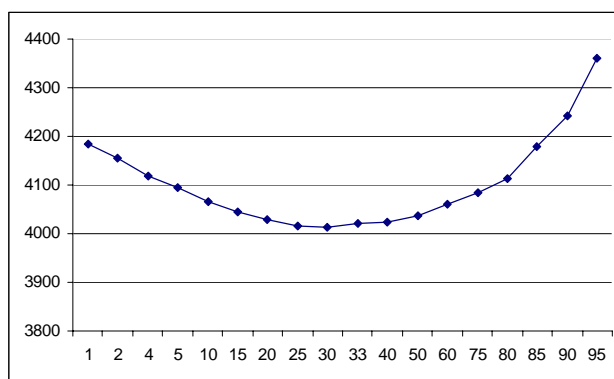
3. ábra Holtidő-értékek az iteráció-szám függvényében különböző kiválasztási stratégiáknál

Az ábrán látható koordináta rendszer vízszintes tengelyén az iterációk száma (5-1000-ig) van feltüntetve, míg a függőleges tengelyen a gépi holtidő értékek szerepelnek. A görbék hiperbolikus jellege – a vízszintes tengely nem arányos skálázása ellenére – jól kivehető, ami abból adódik, hogy a kezdeti lépések során rohamos javulás figyelhető meg (különösen igaz ez a best szelekció esetére), majd a generációk számának növekedésével a legjobb egyed átlagos fitness-értéke egyre jobban megközelíti az optimumot és ebből kifolyólag már egyre lassabb a javulás mértéke. Egyértelműen megállapítható, hogy a véletlen kiválasztás adja a leggyengébb eredményeket – ahogy az várható is volt –, míg a rulett-kerék szelekció közel 1%-kal mindig jobb megoldásokat szolgáltat ugyanannyi iterációt követően. Az is kijelenthető, hogy a best kiválasztódás eredményezi a legjobb megoldásokat a leggyorsabban. A legjobb egyedek reprodukciója által 100 iteráció után már átlagosan 9,2% a javulás az 5. iteráció utáni eredményekhez képest, míg ugyanezen érték alig (mindössze 12,25%-ra) emelkedett a következő 900 lépés során. A rulett-kerék kiválasztási mechanizmus alkalmazásával a GA által adott megoldások átlaga, több mint 5,5%-ot csökkent a 100. populáció után a kezdeti lépésekhez képest, míg a random szelekció esetén alig öt százalék ugyanezen érték. Ugyanakkor ezer iteráció után már mindkét esetben 10% körüli javulásokat kapunk. Valószínű, hogy kellő számú lépés után a két gyengébb kiválasztás is hasonló eredményeket produkálna, mint a best, csak azoknak az időbeni lefolyása sokkal tovább tartana, amit nem biztos, hogy egy optimalizálás során ki tudunk várni.

Felvetődik a kérdés, vajon hogyan alakulnak a görbék, ha a fixnek vett 4%-os klónozást, 16%-os mutációt és 80%-os keresztezést módosítom. Következő vizsgálatom a rekombinációs (keresztezés) műveletet teljes egészében kihagyja, és csak a kiválasztott legjobb egyedek klónozásával valamint mutációjával állítja elő a következő populációt. Miután már a [4] publikációban meghatároztam az azonos egyedszámú vizsgálatnál legjobban alkalmazható populáció-méret és iteráció-szám viszonyokat, ezért most is azokat használom.

Ugyanazon 20 gépes, 25 termékes ütemezési feladatra a GA által 30 futtatás után szolgáltatott holtidő-értékek átlagai 100 egyedszámú populációt és a legjobb kiválasztási szisztémát tekintve, a klónozás és a mutáció arányának függvényében 150 iteráció után a következőképpen alakultak (4. ábra).

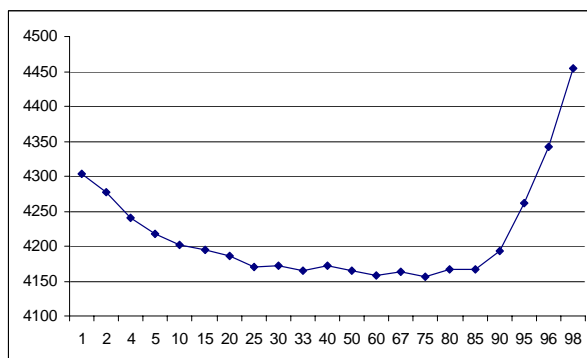
A vízszintes tengelyen az alkalmazott klónozás aránya, míg a függőlegesen továbbra is a holtidők szerepelnek. Az ábrából jól kivehető, hogy a másolás arányának 30%-ig történő növelésével folyamatosan javulnak a holtidő-értékek, majd egy kezdeti lassú emelkedés után (50-60% fölött) viszont rohamos mértékű romlás következik be (a 95%-os klónozás már közel 8%-kal eredményez rosszabb megoldásokat az optimumhoz képest).



4. ábra A GA által szolgáltatott holtidő-értékek a klónozás-mutáció arányának függvényében

Megállapítható, hogy a genetikus algoritmus a klónozás operátor 10 és 60% közötti értéke esetén eredményezte a legkisebb holtidő értékeket keresztezést nem használva. A minimumot ugyan a 30%-os másolás (és ezáltal 70%-os mutáció) jelentette, de ez az általam vizsgált arányok nem folytonos mivoltát feltételezve nem feltétlenül ott is van, hiszen az optimum 25 és 40% között bárhol lehet. Erre további vizsgálatok szükségesek, amit a későbbiekben el is végzek, de ez a dolgozat inkább csak a jelleggörbe meghatározására szolgál. Kijelenthető azonban, hogy a kisebb arányú klónozást érdemes preferálni az optimum-közel megoldások hatékony megtalálása végett. Természetesen érdemes elvégezni az alábbi vizsgálatokat a keresztező operátor és a klónozás viszonyaira is, hogy azok esetén hol ígérkezik a legkisebb célfüggvény-érték, tehát amikor csak a kiválasztott legjobb egyedek klónozása és keresztezése révén állítjuk elő a soronkövetkező populációt.

Az eddig is vizsgált feladatra a program által szolgáltatott holtidő-értékek átlagai 100 individuumot tartalmazó populációt és a best kiválasztási stratégiát tekintve, a klónozás és a keresztezés arányának függvényében 150 generáció után a következőképp alakultak (5. ábra).

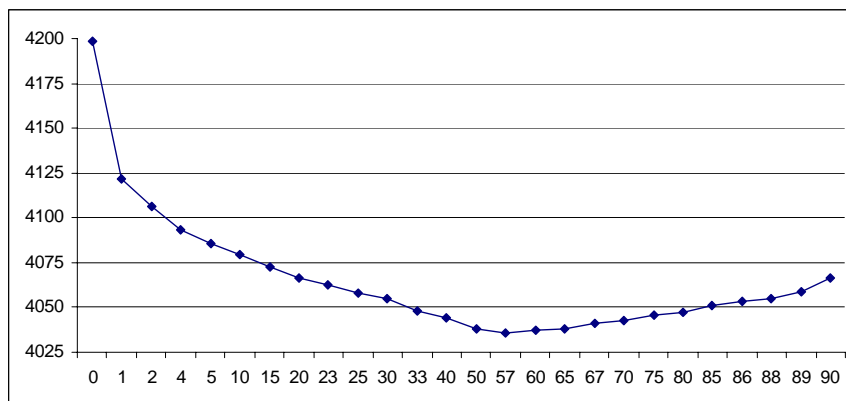


5. ábra Holtidő-értékek a klónozás-keresztesés arányának függvényében

A vízszintes tengelyen továbbra is az alkalmazott klónozás aránya (1-98%-ig), míg a függőleges tengelyen a holtidők szerepelnek. Az ábrán jól látható, hogy a másolás arányának 30%-ig történő növelésével folyamatosan csökkennek a holtidő-értékek, majd 85%-ig stagnálás következik, ezután viszont – az előző ábrán is már látott – rohamos mértékű romlás következik be (a 98%-os klónozás már közel 6,5%-kal eredményez rosszabb megoldásokat a 85%-hoz képest). Megállapítható, hogy a genetikus algoritmus a klónozás operátor 25 és 85% közötti értéke esetén szolgáltatotta a legkisebb célfüggvény-értékeket mutációt nem használva. A minimumot ugyan a 75%-os másolás (és ezáltal 25%-os keresztezés) jelentette, de ez nem feltétlenül pontos, hiszen az optimum 25 és 85% között bárhol lehet. Erre szintén további vizsgálatok szükségesek. Kijelenthető azonban, hogy az előzőekkel ellentétben most nem

feltétlen a kisebb arányú klónozást érdemes preferálni az optimum-közi megoldások hatékony megtalálása végett. Már most meghatározható, hogy a keresztezés és a mutáció arányát inkább az utóbbi javára érdemes növelni. Természetesen – még mielőtt bármit is kinyilvánítanánk – el kell végezni az alábbi vizsgálatokat a keresztező és a mutáció operátor arányaira is egy fix klónozást feltételezve, hogy azok esetén hol ígérkezik a legjobb megoldás.

Ugyanazon feladatra a GA által 30 futtatás után szolgáltatott holtidő-értékek átlagai száz egyed tartalmazó populációt és a legjobb kiválasztási mechanizmust tekintve, a mutáció és a keresztezés arányának függvényében, tíz százalékos klónozást használva 150 iteráció után a következőképpen alakultak (6. ábra).



6. ábra Holtidő-értékek a mutáció-keresztezés arányának függvényében 10%-os klónozásnál

A vízszintes tengelyen az alkalmazott mutáció aránya (0-90%-ig), míg a függőlegesen a holtidők szerepelnek. A 0 érték az előző esetet szemlélteti 10%-os klónozást és 90%-os keresztezést alkalmazva, míg a 90%-os mutáció az azt megelőző vizsgálat eredménye 10%-os klónozásnál keresztezést nem használva. Az ábráról leolvasható, hogy a mutáció arányának 57%-ig történő növelésével folyamatosan javulnak az algoritmus által szolgáltatott célfüggvény-értékek (az 57%-os mutáció használata már négy százalékkal eredményez jobb megoldásokat a mutáció nélküli esethez képest), ezután viszont folyamatos, de csekély mértékű gyengülés következik be. A mutáció operátor 40 és 75% közötti értéke esetén eredményezte a program a legkisebb holtidő értékeket tíz százalékos másolást feltételezve. Nyilvánvalóan meg lehetne vizsgálni a 10%-tól eltérő klónozás esetén is a fenti grafikon alakulását, de az már most is kijelenthető, hogy a mutációt nagyobb arányban érdemes használni a keresztezés rovására az optimum-közi megoldások gyors meglegése végett.

További célom összehasonlítani a program által kezelt négy különböző mutáció operátor, illetve két keresztező operátor egymáshoz viszonyított keresési jóságát a szolgáltatott eredmények függvényében.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **GOLDBERG, D. E.**, Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, 1989.
- [2] **MICHALEWICH, Z.**, Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, Springer, 1996.
- [3] **OLÁH, B.**, Genetic algorithm vs. Reinforcement learning, Chapter 80 in DAAAM International Scientific Book 2009, Vol.8, Published by DAAAM International, Vienna, Austria, p. 831-844.
- [4] **OLÁH, B.**, Genetikus algoritmus érzékenységvizsgálata a populáció méretének függvényében, ECONOMICA (A Szolnoki Főiskola Tudományos Közleményei), Szolnok, 2010.
- [5] **POHLHEIM, H.**, Evolutionary Algorithms, 2009., <http://www.geatbx.com/docu/algindex.html>

A GÁZTURBINÁS HAJTÓMŰVEK ELSŐ 80 ÉVE A REPÜLÉSBEN

THE FIRST 80 YEARS OF GAS TURBINE ENGINES IN AVIATION

VARGA Béla

Főiskolai docens

Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Bolyai János Katonai Műszaki Kar, Repülő és Légvédelmi Intézet
varga.bela@zmne.hu

Kivonat: Habár a közvetlen sugárhajtás elve ismert volt évszázadok óta és a gázturbinás hajtóművek munkafolyamatát leíró Brayton körfolyamat is megszületett a 19. század végére, az első sikeres kísérletek gázturbinás hajtóművekkel az 1930-as évek elején kezdődtek. Olyan gázturbinás sugárhajtóműre, amely már rendelkezett minden olyan szerkezeti komponenssel, amellyel a mai korszerű gázturbinás hajtóművek rendelkeznek, az angol Frank Whittle adott be először szabadalmi kérelmet 1930-ban.

A nehéz kezdet ellenére a fejlődés mégis robbanásszerűvé vált. Különösen igaz ez az 50-es évekre, amikor mind a katonai mind a polgári repülés tekintetében elterjedté vált a gázturbinás hajtóművek alkalmazása. Ez magával hozta a repülőgép gázturbinák technikai fejlesztését is, amelynek lépcsőfokai többé-kevésbé jól lekövethetők és kimutathatók az egyes gázturbinás hajtómű generációk szerkezeti megoldásaiban. Mindezt tanulságos összevetni a hajtóművek hatékonysági és fajlagos üzemanyag fogyasztási adataival.

Kulcsszavak: Gázturbinás hajtóművek, Brayton körfolyamat, propulziós hatásfok, termikus hatásfok, fajlagos üzemanyag fogyasztás.

Abstract: Although the principle of jet propulsion has been well-known since centuries and the Brayton cycle, the cycle of gas turbine engines, was discovered in late 19th century, the first really successful experiments with gas turbine engines started in early 1930s. The gas turbine engine, which has all the structure components, the today's gas turbine engines have, the British Frank Whittle applied for patent in 1930.

Despite the hard early days of gas turbine engines the development has become really impressive. It was especially true for the 50s, when both in military and civil aviation the gas turbine engines became widespread. Of course, it has brought new technical innovations, whose grades more and less can be separated in the structural solutions of different gas turbine generations. This huge development process is well worth matching with the improvement of efficiencies and specific fuel consumption.

Keywords: Gas turbine engines, Brayton cycle, propulsive efficiency, thermal efficiency, specific fuel consumption.

1. A GÁZTURBINÁS KORSZAK KEZDETE

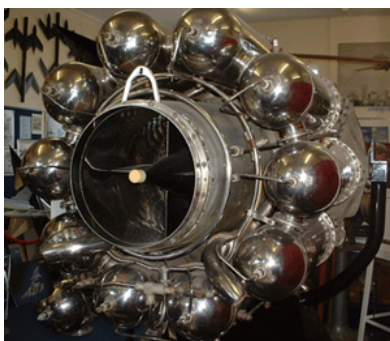
A II. világháború végére a dugattyús légsavaros repülőgépek elérték fejlődésük csúcspontját. Ez azt jelentette, hogy a sebességük valamivel meghaladta a 700 km/h-t. A repülési magasságuk elérte egy átlagos vadászipülőgép esetében a 12 km-t, speciális felderítő változatok esetében pedig a 14-15 km-t.

Típus változat	Év	Motor	Teljesítmény (Le)	Sebesség (km/h)
Bf 109B	1937	Jumo 210	720	466
Bf 109D	1938	DB 600	960	514
Bf 109E	1939	DB 601A	1175	569
Bf 109F	1941	DB 601N	1200	614
Bf 109G	1942	DB 605	1475	643
Bf 109K	1944	DB 605D	2000 (metanol befecsk.)	724

1. táblázat Bf 109 teljesítmény adatai [2]

Jól példázza ezt a folyamatot a II. világháború egyik legismertebb és talán legtöbb fejlesztési fázison átesett vadászipülőgépe, a Messerschmitt Bf 109. Az 1. táblázatban a teljeség igénye nélkül felsoroltam néhány fő változatát ennek a repülőgépnak, demonstrálva, hogy az egyre nagyobb teljesítményű motorok nem hoztak átütő eredményt a repülőgépek sebesség növekedése szempontjából.

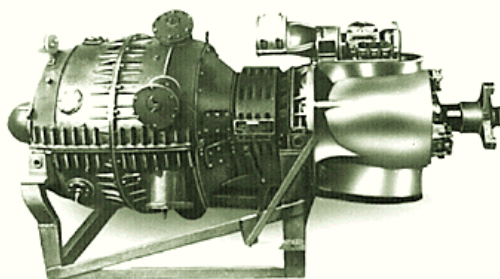
Ezek a korlátok ismertek voltak már a II. világháború előtt is, habár a világháborúba bekapcsolódó országok repülőgépei ekkor még nem közelítették meg ezeket a határértékeket. Aerodinamikai összefüggéseket felhasználva könnyen kimutatható, hogy a szükséges teljesítmény és a sebesség között köbös összefüggés van, nem beszélve a többlet fegyverzet súlynövelő hatásáról, ami szintén többlet teljesítményt igényel. Ennek megfelelően több kutató is új irányokba indult a hajtómű fejlesztések tekintetében. Nemzetközi szinten az angol Whittle munkássága kiemelendő, akinek az 1930-as években elkészített gázturbinás hajtóműve minden olyan gépegységgel rendelkezett, amivel egy mai modern gázturbina.



1. ábra Whittle hajtóműve

Az első működőképes repülőgépbe épített gázturbinás sugárhajtómű azonban a Hans von Ohain által tervezett *Heinkel HE S3* volt. Ezt a hajtóművet egy Heinkel HE 178 repülőgépbe építve 1939. augusztus 27-én hajtották végre az első sugárhajtású géppel történő repülést.

Ne feledkezzünk meg azonban a magyar Jedrassik Györgyről. Jendrassik már a Ganz-gyár jeles, nagy tekintélyű mérnöke volt, amikor elkezdett a gázturbina-fejlesztéssel foglalkozni. Az első ilyen tárgyú szabadalma 1929. március 12-én datálódott. 1938-ban elkészült közel 100 LE-s teljesítményű gépe volt a legelső gyakorlatilag megvalósított gázturbinák egyike.



2. ábra Jedrassik tengelyteljesítményt szolgáltató gázturbinája

Eredményei méltó feltűnést keltettek. A gép 16 400 f/min fordulatszámon és 98,5 LE (72,5 kW) teljesítménynél 21,2% effektív hatásfokot ért el. A turbina előtti maximális gázhőmérséklet 475 °C, kompresszorának nyomásviszonya 2,2 volt. Ilyen alacsony turbina

előtti gázhőmérséklettel, illetve ilyen kisméretű géppel a mai napig sem érték el ennyire jó hatásfokot. A gép hőcserélővel rendelkezett. Újszerű volt mind az axiális kompresszor, mind a turbina: mindkettő enyhén ívelt lapátokkal, feles forgással (50% reakciófok) és a potenciális örvény sebességi eloszlása szerint elcsavarva. A kompresszor fokozati hatásfoka 85%, a turbináé 88% volt [3].

A 40-es években megjelentek a repülőgépekben is a gázturbinás hajtóművek, így például a Messerschmitt Me 262, Arado 234, vagy a szövetségesek részéről a Gloster Meteor repülőgépekben (habár ez utóbbi nem kapott még harctéri szerepet). Az 50-es években pedig végképp és visszavonhatatlanul berobbant a repülésbe a gázturbinás korszak.

2. A GÁZTURBINÁS HAJTÓMŰVEK HATÁSFOKA

A gázturbinás hajtóművek szerkezete természetesen sokat változott az említett 80 év alatt. Ennek a célja az első időszakban főként a hajtóművek teljesítményének (tolóerejének) növelése, később pedig mindinkább hatásfok és gazdaságossági mutatóik javítása volt. Mivel különösen manapság ez utóbbi került előtérbe, érdemes egyfajta rövid áttekintést tenni a ezen a területen a hajtóművek fejlődését végigkövetve. Ennek első lépéseként felosztani a különböző hatásfok összetevőket.

2.1. Ideális termikus hatásfok

A temodinamika II. főtételének több megfogalmazása is létezik. Ennek egyik változata Kelvin nevéhez fűződik és alapvetően a hőerőgépek körfolyamatait jellemzi. Ez kimondja, hogy a hőerőgépek munkafolyamatai során a hő csak veszteség mellett alakítható át munkává. A levezetést mellőzve látható, hogy az ideális termikus hatásfok gázturbinás hajtóművek esetében csak a kompresszor nyomásviszonyától függ.

$$\eta_{ti} = 1 - \frac{1}{\pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} \quad , \quad (1)$$

ahol:

- η_{ti} – a gázturbinás hajtómű ideális hatásfoka;
- π – a gázturbinás hajtómű kompresszorának nyomásviszonya.

Természetesnek tűnik, hogy növeljük a nyomásviszony értékét. Ez az első időszakban a kompresszorok áramlástanilag gyenge kialakításából eredően nagy nehézségekbe ütközött. Vegyük, pl. a Messerschmitt 262 repülőgép Jumo 004 hajtóművét, amely 8 fokozatú axiál kompresszorával 3,14-es nyomásviszonyt produkált. Fokozatonként ez átlagosan 1,15-ös nyomásviszonyt jelent. Ennek eredménye, hogy a megépített gép teljesen veszteségmentes működése mellett sem lehetett a hatásfok jobb 27%-nál.

Az 50-es évek elején a centrifugál kompresszorok terjedtek el egy, vagy kétoldali beömléssel, de általában egy fokozattal. Ez részben nagy hajtómű átmérőt eredményezett, másrészt limitálta kb. 4,5-es értékkel a kompresszor nyomásviszonyt.

Az 50-es évek második felére ismét visszatértek az axiál kompresszorok alkalmazásához és a 60-as évek elejére elérték a 10-12-es nyomásviszonyt. Manapság ez az érték 30-40 körül tetőzik, ami azt jelenti, hogy egy axiál fokozat 1,4 feletti nyomásviszony előállítására képes. Hozzá kell tenni, hogy a kompresszor nyomásviszony növelése még a szerkezeti lehetőségek

javulása mellett sem növelhető korlátlanul. A maximális kompresszor nyomásviszony értékét többé kevésbé korlátok közé szorítja a turbina előtti gázhőmérséklet értéke. A hajtómű fajlagos hasznos munkája ugyanis a kompresszor nyomásviszony függvénye. Ideális körfolyamatnál azt a kompresszor nyomásviszonyt, ahol a fajlagos hasznos munka maximális a következő kifejezés adja meg:

$$\pi_{w_{\max}} = \left(\frac{T_3}{T_1} \right)^{\frac{\kappa}{2(\kappa-1)}}, \quad (2)$$

ahol:

$\pi_{w_{\max}}$ – a maximális fajlagos munkához tartozó kompresszor nyomásviszony;

T_3 – a turbina előtti gázhőmérséklet;

T_1 – a környezeti hőmérséklet.

Hőcserélős gázturbinák esetében ennél alacsonyabba, hőcserélő nélküli gázturbinák esetében némileg magasabba választják a kompresszor maximális nyomásviszonyát. Ennek megfelelően a fejlesztések során elengedhetetlen cél volt a kompresszor nyomásviszonyának növelése mellett a turbina gázhőmérsékletének növelése [1].

Az 50-es évek gázturbináinak turbina előtti hőmérséklete nem haladta meg az 1000-1200 K-t. Első lépésként a szerkezeti anyagok korszerűsítése jöhetett szóba. Megjelentek az egy irányba rendeződött kristályszerkezetű lapátok, majd az egykristály lapátok. Mindez párhuzamos volt a turbina tárcsák és lapátok egyre kifinomultabb hűtési rendszereivel. Az egykristály lapátok tulajdonságai tovább javíthatóak hővédő bevonattal (TBC – Thermal Barrier Coating). Az eljárás lényege, hogy a felületet kb. 0,2 mm, hőszigetelő kerámia réteggel vonják be, ami 100-300 K hőmérséklet különbséget képes fenntartani a forró gáz és a lapát anyaga között. Ennek a fejlődési folyamatnak köszönhetően a turbina előtti maximális gázhőmérséklet 1800 K körül mozog.

Manapság az egykristály szerkezeti megoldást nem csak a turbina lapátoknál alkalmazzák, hanem a tárcsa a lapátózással egyetlen fémkristályból áll, amelyet speciális háromdimenziós forgácsolási eljárással alakítanak ki. Az így kialakított turbinák esetében a maximális turbina előtti hőmérséklet meghaladhatja a 2200 K-t (F119-es hajtómű, az F-22 Raptoba, illetve az F135-ös hajtómű az F-35 Lightning II-be építve) [4].

2.2. Gépegység veszteségek, valós termikus hatások

A megépített hajtóművekben minden gépegységben további veszteségekkel kell számolni.

Diffúzor (σ_d)	Kompresszor (η_k)	Égőtér (σ_d)	Turbina (η_t)	Fúvócső (η_f)
Kissebességű csatornánál: 0,97-0,99, Nagysebességű csatornánál erősen függ a sebességtől, illetve a szabályozástól.	0,85-0,9 Kisméretű hajtóműveknél várhatjuk a rosszabb értékeket	0,97-0,98	0,86-0,91 Jobb a hatásfoka, mint a kompresszornak, mivel konvergens gép	0,89-0,92 Jobb a hatásfoka, mint a turbinának egyszerűbb szerkezete miatt.

2. táblázat Gépegységek hatásfok és veszteség adatai

A kompresszor, a turbina, illetve a fúvócsövek valóságban nem izentrópikus folyamatot valósítanak meg, a veszteségeket az ún. izentrókus hatásfokokkal lehet megadni. A szívócsatornában, az égőtérben, tengelyteljesítményt szolgáltatató gázturbináknál a gázelvező rendszerben nyomásvesztés keletkezik. Ezek várható értékeinek összefoglalása a 2. táblázatban láthatóak (az értékek szórása a tervezési időpontra is utalnak).

2.3. Propulziós hatásfok

Eddig csak a gázturbinás hajtóműről magáról beszéltünk. Mindezt a hasznos munkát, amit a fenti veszteségek után megkapunk, vontatássá kell alakítani, ami további veszteséggel jár. Levezetés nélkül a propulziós hatásfok a következő összefüggéssel adható meg:

$$\eta_{prop} = \frac{2v}{(w-v) + 2v}, \quad (3)$$

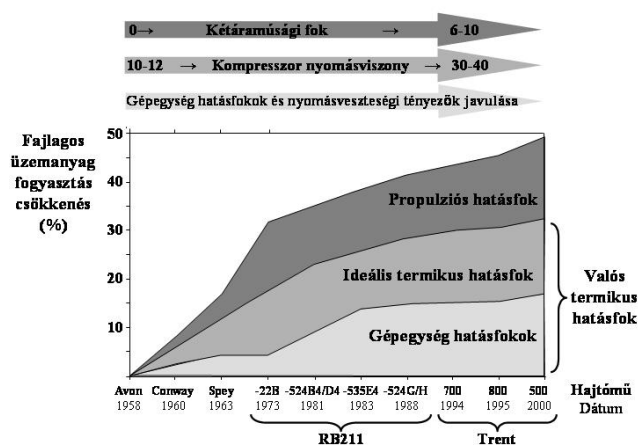
ahol:

- η_{prop} – a hajtómű propulziós hatásfoka;
- v – a repülési sebesség;
- w – a fúvócső kilépő keresztmetszetében a gáz áramlási sebessége.

Elmondható, hogy a gázturbinás korszak hajnalán a propulziós hatásfok is meglehetősen gyenge volt a $(w-v)$, fajlagos tolóerő magas értékei mellett. Ez főként annak volt a következménye, ebben az időszakban kizárólag egyáramú hajtóműveket alkalmaztak. Ezt tetézte, amikor a sebességnövelés érdekében az 50-es évek végén, 60-as évek elején elterjedt az utánégetés alkalmazása.

3. A HATÁSFOK VIZSGÁLATOK ÖSSZEFOGLALÁSA

A gázturbinás hajtóművek fejlődési folyamata során a fentebb tárgyalt hatásfokok tekintetében párhuzamos volt az előrelépés. A fejlődést jól szemlélteti a fajlagos üzemanyag-fogyasztás csökkenése.

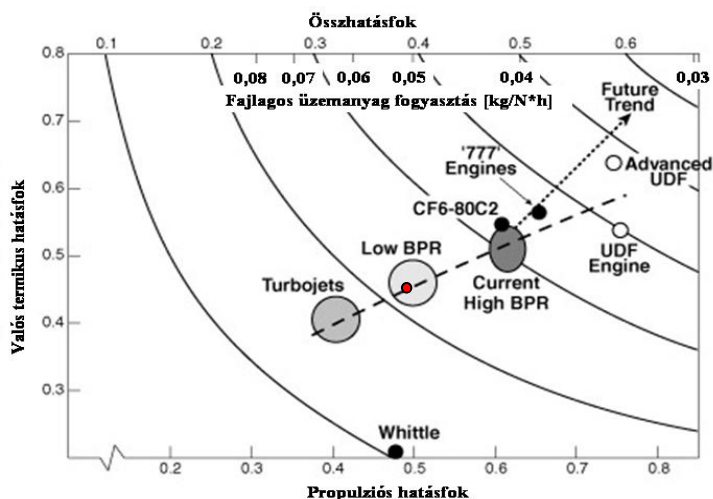


3. ábra Rolls Royce hajtóművek fajlagos üzemanyag-fogyasztásának alakulása 2000-ig [5]

Ebben az esetben egy hajtómű kategóriáról és típusról van szó, nevezetesen utasszállító repülőgépeknél alkalmazott Rolls Royce hajtóművekről. Az összesen kb. 50 %-os fajlagos

üzemanyag-fogyasztás csökkenést gyakorlatilag egyenlő arányban eredményezte a három hatásfok összetevő.

A következő ábra már egy általánosabb képet mutat a gázturbinás hajtóművek különböző kategóriáiról. Érdekességképpen ott láthatjuk Whittle hajtóművét a maga körülbelül 20 %-os valós termikus hatásfokával, ami a tűrhető közel 50 %-os propulziós hatásfok mellett is csak kb. 10 %-os összh hatásfokot produkált. Saját számításaim alapján ebben a diagramban a Gripen RM-12-es hajtóművét a kis kétáramúsági fokú hajtóműveknek (Low BPR) a kis ponttal jelzett helyre tenném, ami azt jelenti, hogy ez a hajtómű a kategóriájában a jó átlagot képviseli



4. ábra A gázturbinás hajtóművek hatásfok és fajlagos üzemanyag-fogyasztási adatai [6]

Honnan várhatunk tovább előrelépést? A fenti elemzés a gázturbinás hajtóművek un. számított üzemmódjára (design point) vonatkozik. Már manapság is a FADEC (Full Authority Engine Control) hajtómű szabályozó rendszerek jelentősen javították a gázturbinás hajtóművek hatásfok és üzemanyag-fogyasztási adatait rész üzemmódokon. A kompresszorok működésében is látok további tartalékokat. Jelenleg a kompresszorok instabil működés elleni védelme levegőelvétellel, illetve a kompresszor lapátok elfordításával történik. A lapátok elfordítása egy meghatározott program szerint történik, meglehetősen nagy stabilitási tartalékot biztosítva, illetve ezzel csökkentve a fokozatonként elérhető nyomásviszonyt. A kompresszor üzemi állapotáról való pontos visszacsatolással lehetne csökkenteni a stabilitási tartalékot, tovább növelve ezzel a fokozatok nyomásviszonyát. Lehetőség van továbbá az egyszer már félig meddig elfeledett UDF (Un-ducted Fan) koncepció felmelegítésére, ami jelentős propulziós hatásfok javulást eredményezhetne.

Hozzá kell tenni, hogy jelentősebb áttörések általában kényszer hatására születnek. Ez a kényszer legtöbbször az üzemanyagok árában jelenik meg (különösen a polgári repülésben). A szénhidrogén alapú üzemanyagok árának várható jövőbeni növekedése valószínűsíti, hogy a fejlesztések nem állnak le.

4. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] VARGA, B., Hajtóműelmélet I-II, Elektronikus óravázlat.
- [2] <http://www.chuckhawks.com/me-109.htm>
- [3] <http://www.mszh.hu/feltalalok/jendrass.html>
- [4] KORLÁTH, SZ., Gázturbinás hajtóművek evolúciós fejlődése, szakdolg. (konz. Varga B.), p 64.
- [5] <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/mphil/Trent1/sld033.htm>
- [6] <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2003/Superalloys/coatings/index.html>

PROFINET IO VÁLASZIDŐK ELEMZÉSE

PROFINET IO REACTION TIME ANALYSIS

FERENCZI István

mérnökstanár, PhD hallgató
Nyíregyházi Főiskola, Műszaki Mezőgazdasági Kar
ferenczi@inform.hu

Kivonat: A PROFINET szabványos (IEC 61158 és IEC 61784), nyílt ipari Ethernet hálózat, amely kielégíti az automatizálási technológiák és ipari folyamatirányító rendszerek minden követelményét. A PROFINET több mint egy egyszerű ipari Ethernet. Segítségével kivitelezhetők a decentralizált terepi eszközök közötti biztonságos adatkapcsolatoktól, a gyors válaszidőt igénylő motorhajtásokig minden irányítási tevékenység. A valós idejű adatátviteli (RT és IRT) lehetőségei mellett a teljesen IT technológiára alapuló előnyei játszanak fontos szerepet abban, hogy egyre inkább kezd elterjedni az ipari kommunikációban.

Kulcsszavak: valós idejű, kommunikáció, ciklusidő, válaszidő, frissítési idő

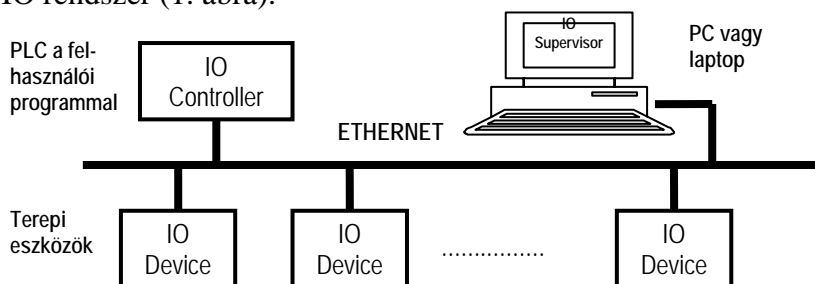
Abstract: PROFINET is the innovative open standard (IEC 61158 and IEC 61784) for Industrial Ethernet, which satisfies all requirements for automation technology. PROFINET is more than simple Industrial Ethernet. With PROFINET solutions can be implemented for factory and process automation, for safety applications, and for the entire range of drive technology right up to clock synchronized motion control. Besides the Real-Time capability and the use of IT technology, protection of investment also plays an important role in PROFINET.

Keywords: Real-time, communications, cycle time, reaction time, refresh time

1. BEVEZETÉS

A PROFINET IO rendszer alapvetően három elemből épül fel:

1. IO Kontroller, amely a legtöbb esetben egy PLC, amelyen a felhasználói (vezérlési) program fut.
2. IO Eszközök, (elvileg max. 128) amelyek Etherneten keresztül kommunikálnak a kontrollerrel. Ezekhez kapcsolódnak a terepi eszközök (érzékelők, beavatkozók).
3. IO Supervisor, amelyen keresztül konfigurálható, programozható és lekérdezhető a Profinet IO rendszer (1. ábra).



1. ábra A Profinet IO rendszer elemei

2. PROFINET KOMMUNIKÁCIÓ

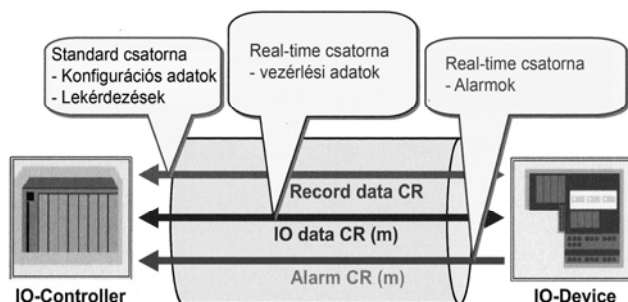
A TCP/IP protokollra épülő valós idejű kommunikáció során adott esetben egyaránt jelen vannak a nem valós idejű (NRT) csomagok mellett a valós idejű (RT Class1, 2) és a szinkronizálást igénylő vezérlések szigorúan valós idejű ún. Isochronous Real-time (IRT, vagy RT Class3) csomagjai is [1]. Az ütközések elkerülése végett, az RT csomagok prioritással vannak

ellátva, az IRT csomagok számára pedig a kommunikáció alapjául szolgáló IRT kapcsoló, mindig szabad utat biztosít [2].

2.1. Kapcsolatmenedzselés

A Profinet IO rendszer kommunikációs stratégiája az „előállító-fogyasztó” (provider-consumer) modellen alapszik [3]. Az IO eszköz adatokat küld a kontrollernek a folyamat állapotáról. Ilyenkor az IO eszköz az előállító, a kontroller pedig a fogyasztó. Amikor a kontroller küldi a folyamat vezérléséhez szükséges kimeneti adatokat, akkor szerepet cserélnek, a kontroller lesz az előállító, az IO eszköz pedig a fogyasztó.

Ahhoz, hogy a kommunikációs csatorna létrejöjjön, az előállító és a fogyasztó között egy virtuális logikai kapcsolatra is szükség van, amit alkalmazás relációnak (Application Relation – AR) nevezünk. Az IO kontroller mindegyik IO eszközzel felépít egy-egy AR kapcsolatot. Ezek a kapcsolatok automatikusan létrejönnek közvetlenül a rendszer felállása után. Az alkalmazás reláción belül épülnek ki a különböző kommunikációs relációk (Communication relation – CR) amikor egy kapcsolat létrejön az előállító és a fogyasztó között (2. ábra) [1].



2. ábra Kommunikációs relációk

A kapcsolatfelvételt mindig az előállító kezdeményezi és a sikeres vétel nyugtázása után elbontja. Alapvetően háromféle kommunikációs kapcsolat alakulhat, attól függően, hogy milyen jellegű kommunikáció épül ki:

- Record Data CR, nem ciklikus adatátvitelkor, pl. konfigurálás, lekérdezés,
- IO Data CR, ciklikus bemeneti és kimeneti adatok továbbításakor,
- Alarm Data CR, hibaesemények alkalmával (lásd 2. ábra).

Ebben a cikkben csak az IO Data CR bemeneti adatok által gerjesztett kimeneti válaszidőket fogom vizsgálni különböző, leginkább kritikus, kiélezett helyzetekben valós idejű, RT Class1 kommunikáció esetében.

2.2. Az IO Data CR működési elve és jellemzői

Az IO Data CR alapvető funkciója, hogy továbbítsa az IO adatokat a kontroller és az IO eszközök között, a már említett előállító-fogyasztó modell szerint. A kapcsolat létrejötte során az adatokon kívül még az alábbi paraméterek is továbbításra kerülnek:

- egy lista a továbbításra kerülő IO adatobjektumokról,
- a küldési intervallum beállításairól, pl. küldési idő, küldési szorzó stb.
- az átviteli frekvencia.

A létrehozandó kommunikációs kapcsolatok száma a Profinet IO konfigurációjában van meghatározva, attól függően, hogy hány IO eszköz van telepítve. A létrejött kapcsolat kétirányú, vagyis tulajdonképpen két ellentétes IO Data CR jön létre, amelyek állapotinformációt is

tartalmaznak. Közvetlen nyugtázás a keretek érkezéséről nincs, viszont a fogyasztó, ha nem kapja meg a kapcsolatfelvételt a továbbítási listán szereplő adatokat három IO busz ciklus-idő eltelte után sem, akkor hibaüzenetet generál. Az erre vonatkozó információkat az RT keret ciklusszámláló eleme tartalmazza, amely inkrementál, amikor az adott küldési ciklus alatt nem érkezik meg a várt adat [3].

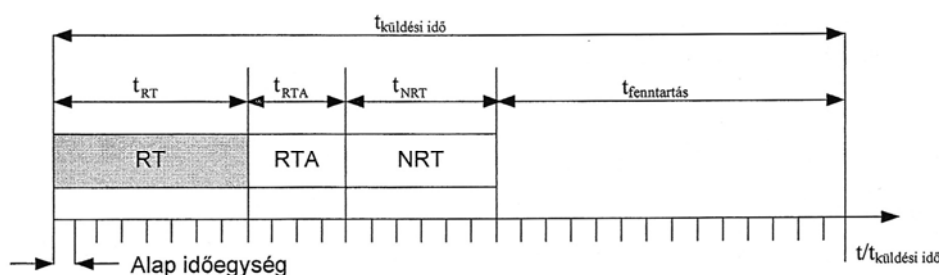
Az IO Data CR legfontosabb jellemzői a következők:

- a küldési idő (Send clock time),
- az osztási tényező (Reduction ratio),
- a frissítési ciklusidő (Update time).

A küldési idő az az intervallum, amely alatt a ciklikus adatok továbbításra kerülnek az IO Data CR-en keresztül. Eszköz specifikusan határozható meg a 31,25µs-os alapidő egész számú többszöröseként.

$$\text{Küldési idő} = \text{küldési tényező} \cdot 31,25\mu\text{s} \quad (1)$$

A küldési tényező 1 és 128 közötti egész számú értékeket vehet fel. Nem szinkronizált válasz RT Class1 típusú adatok esetén ez a tényező 32 vagy annál nagyobb értékű lehet. Ha 32-vel egyenlő, akkor a küldési idő 1ms lesz. Ezt az esetet szemlélteti a 3. ábra.



3. ábra A küldési idő RT adatok esetében

A fenti ábrában RT-vel a ciklikus, RTA-val a nem ciklikus valós idejű, valamint NRT-vel a nem valós idejű adatokat jelöltük.

Mivel nincs mindig szükség nagyon gyors adatátvitelre, a küldési frekvenciák eltérőek lehetnek a különböző IO eszközöknél. Így a leglassúbb állomás nem tartja fent a teljes adatátvitelt. Ezek számára az osztási tényező segítségével alacsonyabb küldési frekvenciákat tudunk beállítani. Az osztási tényező mindig 2^n . Ezeket figyelembe véve kapjuk, hogy:

$$\text{Frissítési idő} = 2^n \cdot t_{\text{küldési idő}} \quad (2)$$

A frissítési idő tehát periódikusan ismétlődik, vagyis meghatározza a küldési ciklust. Ebben a ciklusban kapják meg az IO eszközök a kontrollertől az adatokat és ugyancsak ilyenkor továbbítják az IO eszközök is a controller felé adataikat.

3. A VÁLASZIDŐK ELVI MEGHATÁROZÁSA

A gyakorlatban sok esetben meghatározó lehet, hogy mennyi idő telik el egy bemeneti csatorna gerjesztésének kezdeti pillanatától egészen addig a pillanatig, amíg a megcímzett kimeneti csatornán a válasz megjelenik. Az is érdekes lehet, hogy milyen gyakorisággal követhetik egymást a bemenetre érkező jelek, amelyeknél még egyértelmű választ kapunk a kimeneten. Mennyi lehet az a minimális gerjesztési időtartam, amelyet még „észrevesz” a bemenet?

Hogy ezekre a kérdésekre választ tudjunk adni, nézzük meg, melyek azok a tényezők, ame-

lyek befolyásolhatják a válaszidők alakulását a Profinet rendszerben. Ezek a következők:

- vezérlési program ciklusidő (C_T) [5],
- a bemeneti csatornák késleltetési ideje (I_D),
- a Profinet IO beállított frissítési ideje (U_T).

Ezek közül egyedül a frissítési idő az, amit a valós idejű követelményeknek megfelelően megválaszthatunk. A másik két tényezőt érdemben nem nagyon tudjuk csökkenteni. Azt is figyelembe kell vennünk, hogy nem mindegy, hogy a frissítési időhöz képest mikor érkezik a bemeneti gerjesztés. Vagyis a válaszidőknek lesz egy alsó és egy felső határa. Az alsó határ (S_{RT}) azt a legkedvezőbb elméleti helyzetet feltételezi, amikor egy ciklusidőn belül megérkezik a válasz is.

$$S_{RT} = C_T + I_D \quad (3)$$

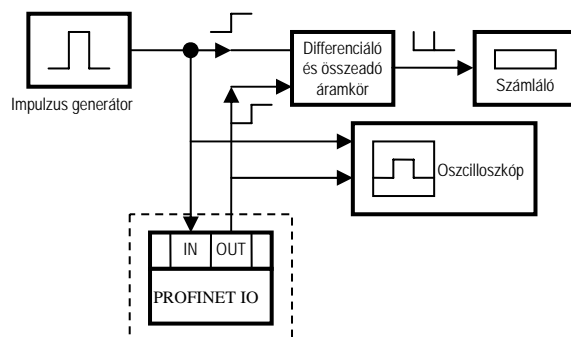
Vagyis a bemeneti gerjesztés éppen a frissítési intervallum legvégét és a bementi folyamatok kép (PII) aktualizálását még eléri, a válasz pedig a következő kimeneti kép (PIO) aktualizálásakor ugyancsak a frissítési intervallum legvégét éri el.

A legkedvezőtlenebb helyzet (L_{RT}) az lesz, amikor az IO eszköz bemenetéről érkező jel éppen lekési az aktuális frissítési időt, majd a következő frissítés után a ciklus bementi folyamatok kép aktualizálási pillanatát is, ezért csak a következő ciklusban töltődik be és kerül végrehajtásra. A válasz pedig a következő ciklus kimeneti folyamatok kép aktualizálásakor éppen lekési a frissítési időt, így csak a következővel kerül továbbításra [4].

$$L_{RT} = 2 \cdot C_T + I_D + 4 \cdot U_T \quad (4)$$

4. A VÁLASZIDŐK MÉRÉSE

A vizsgált PROFINET IO rendszer csillag topológiájú, 100 Mb-es full duplex Ethernet hálózat, egy SCALANCE X005-ös switchel. A kontrollert egy S7-300 CPU315F-PN PLC alkotja 16-16 digitális IO modullal. Az IO eszköz egy ET-200S, IM151-3 PN IO eszközevezérlővel, 4-4, egyenként 2-2 csatornás digitális bemeneti és kimeneti modullal. IO szupervisorként egy laptopot használtam. A válaszidők mérésekor, a bemenetek gerjesztéséhez használt impulzus generátor 0,5Hz-től 1kHz-ig, 1% és 50% közötti kitöltési tényezőjű 24V-os impulzusokat biztosított. A bemenetre érkező és a kimeneten megjelenő feszültségváltozást egy-egy differenciáló és összeadó áramkört követően egy univerzális számláló, valamint egy kétszatornás oszcilloszkóp bemenetére kapcsoltam (4. ábra).



4. ábra Mérés univerzális számlálóval

Ennek a módszernek az az előnye, hogy nagyon pontosan, akár század milliszekundum pontossággal tudunk mérni. Hátránya, hogy kiegészítő áramkör és időmérő berendezés szükséges.

5. MÉRÉSI EREDMÉNYEK ISMERTETÉSE

A mérések során egyrészt azt próbáltam megállapítani, hogy milyen frissítési időt kell beállítani a rendszernek, ahhoz, hogy a kívánt válaszidők biztosítva legyenek, másrészt pedig, hogy milyen minimális időtartamú kell legyen a bemeneti jel, amelyik még reakciót tud kiváltani.

A mérések során a következő kommunikációs eseteket vizsgáltam:

1. IO eszköz bemeneti csatornája gerjeszti az IO eszköz kimeneti csatornáját,
2. IO eszköz bemeneti csatornája gerjeszti az IO kontrollert (PLC) kimeneti csatornáját,
3. IO kontrollert bemeneti csatornája gerjeszti az IO eszköz kimeneti csatornáját.

A gerjesztett bemenetek közvetlenül a kimenetekre vannak irányítva, tehát semmilyen műveletvégzés nem történik.

A kontrolleren futó alkalmazás méri a ciklusidőt (C_T), felépítése nem bonyolult, a ciklusidő csak ritkán közelíti meg a 2ms-ot, átlagban 1ms, vagy kevéssel ez alatt van (0,85ms). A vizsgált frissítési idők: 16, 8, 4, 2 és 1ms.

Az IO eszköz bemeneti csatornáinak késleltetése (I_D) 3ms-ra van beállítva, mindhárom esetben, majd a legkiélezettebb helyzetben (1ms-nál, * jelölve az 1. táblázatban) $I_D = 0,5\text{ms}$ -ra is beállítottam. A kontrollert bemenetein ez az érték minden esetben 3ms.

A bemenetek gerjesztése impulzus generátorról 24V 0,5Hz-es 1% kitöltésű (20ms szélességű) impulzusokkal történt. Mindegyik esetben több száz mérést végeztem, de csak 100-100 eset került rögzítésre és feldolgozásra. A három esetre vonatkozó szélsőértékeket, valamint az átlagértékeket az 1. táblázatban láthatjuk.

Válaszidő	16ms	8ms	4ms	2ms	1ms	*1ms
1. IO \leftrightarrow IO						
minimum	8,0	8,0	6,7	6,4	6,4	3,9
maximum	34,0	22,0	14,0	10,3	9,3	5,9
átlag	20,11	13,94	10,59	8,61	7,41	4,87
2. IO \rightarrow PLC						
minimum	5	5	5	4,9	5,1	2,6
maximum	21	14	10,3	7,5	6,6	4,2
átlag	11,2	9,23	7,52	6,16	5,79	3,32
3. PLC \rightarrow IO						
minimum	5	5	4,5	4,5	4,2	4,1
maximum	22	13	10	7,4	6,5	6,5
átlag	13,83	9,02	6,95	5,86	5,38	5,34

1. táblázat Átlag- és szélsőértékek ms-ban

Nézzük meg a szélsőséges helyzeteket! 16ms-os frissítési idő esetében a maximális válaszidő a (4) alapján, figyelembe véve, hogy $C_T \ll U_T$:

$$L_{RT} = 2 \cdot 0,85\text{ms} + 3\text{ms} + 2 \cdot 16\text{ms} = 36,7\text{ms}$$

Az általam mért maximális érték 34ms volt. A legrövidebb válaszidőt, 2,6ms-ot akkor mértem, amikor a frissítési idő 1ms-ra, az IO eszköz bemeneti csatornáinak késleltetése 3ms-ról 0,5ms-ra lett beállítva, a kommunikáció pedig az IO eszköz felől a PLC felé irányult. Ebben az esetben a (3) alapján:

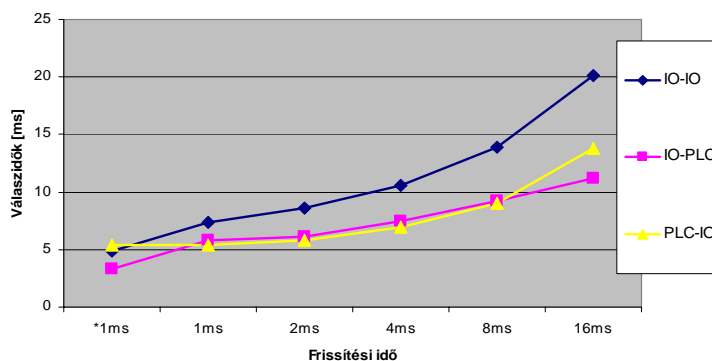
$$S_{RT} = 0,85\text{ms} + 0,5\text{ms} = 1,35\text{ms}$$

A fenti számított elméleti érték előfordulási valószínűsége igen csekély, ezért a valóságos helyzetben mindenképpen számolnunk kell egy frissítési idővel is. Így: $S_{RT} = 2,35\text{ms}$ lesz.

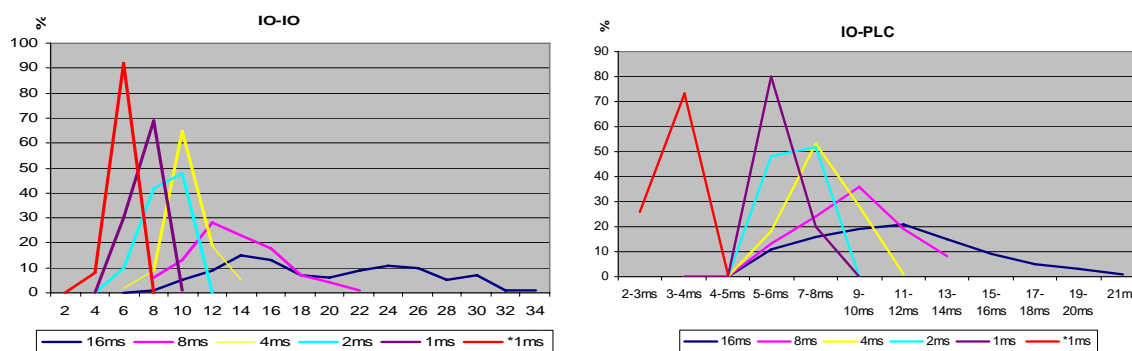
A táblázatból azt is kiolvashatjuk, hogy adott maximális válaszidő korlát esetén milyen

frissítési időt kell választanunk a Profinet IO-nál. Pl. ha azt szeretnénk, hogy IO ↔ IO kommunikációnál 25ms-nál nagyobb válaszidők ne forduljanak elő, akkor 8ms-os frissítési időt kell beállítanunk. Egyirányú kommunikáció esetén elegendő a 16ms is.

A válaszidőket tekintve, egyirányú kommunikációnál lényegében nincs jelentősebb különbség aközött, hogy ki az előállító és ki a fogyasztó. Mindkét esetben hasonló válaszidőket kapunk, kivéve azt az esetet, amikor az IO eszköz bemeneti csatornáinak késleltetési idejét 0,5ms-ra csökkentettük (5. ábra).



5. ábra A válaszidők változása a frissítési idő függvényében



6. ábra Válaszidők időbeli változása

A 6. ábrákon jól látszik, hogy ahogy csökkentjük a frissítési időt, a válaszidő eltérések (jitter) egyre inkább csökkennek. 1ms-nál az átlaghoz képest már csak -1ms és +1,9ms-al tér el, azaz -13,5% és +20,4%. Ez első ránézésre soknak tűnik, azért mert a ciklusidő meglehetősen rövid. Viszont ha egy 6ms körüli ciklusidővel rendelkező, átlagos vezérlési programot veszünk, megnövekszik ugyan a válaszidő, de az eltérés már csak -7,4% és +14% körül lesz. Az ismertetett mérések eredményeiből olyan gyakorlati következtetéseket vonhatunk le, amelyek segítségével a Profinet IO rendszer konfigurálható a valós idejű folyamatok kritikus időkorlátainak megfelelően. Nem szinkronizált folyamatok esetében tudnunk kell, hogy milyen határok között, milyen eltérések fordulhatnak elő, melyek azok a szélsőséges esetek, amikor bizonyos időfolyamatok kritikussá válhatnak, melyek azok a határok, amelyek között egy valós idejű rendszer követelményei maradéktalanul teljesülnek.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Raimond Pigan, Mark Metter: Automating with Profinet (2006)
- [2] PROFINET Real-time communication by Siemens AG (2007)
- [3] Ferenczi István: Profinet Real-time kommunikációs stratégiák (Gép 2009, dec. szám)
- [4] Siemens Simatic CPU 31x: Specifications Manual, 06/2008, A5E00105475-08
- [5] Ferenczi István: Profinet IO Kontroller ciklusidő változás vizsgálata (MicroCAD Konf. 2010)

A MULTIMÉDIA ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI AZ AERODINAMIKA OKTATÁSA SORÁN

OPPORTUNITIES OF MULTIMEDIA DURING EDUCATION OF AERODYNAMICS

DR. BÉKÉSI László

egyetemi docens

Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Bolyai János Katonai Műszaki Kar, Repülő és Légvédelmi Intézet,
Repülő Sárkány-Hajtómű Tanszék
bekesi.laszlo@zmne.hu

Kivonat: A cikk azzal foglalkozik, hogyan lehet a tanítás-tanulás folyamatában használni a multimédia segítségével előállított oktatási tananyagot. A cikk további részében a szerző a multimédia szerkesztő szoftvert (Neobook 5.6.3) mutatja be. Végül az „helikopter aerodinamika” tantárgyhoz készített multimédiás oktatóanyagot mutatja be példákon keresztül.

Kulcsszavak: multimédia, tanítás, szoftver, helikopter, aerodinamika.

Abstract: The article is dealing with that, how at process of the teaching-study use educational tutorial produced with the help of multimedia. At further part of the article the author show, how use the multimedia editing software (Neobook is 5.6.3). At last that "helicopter aerodynamics" he presents instructor-matter with multimedia made to subject across examples.

Keywords: multimedia, education, software, helicopter, aerodynamics.

1. A HELIKOPTER AERODINAMIKÁJÁNAK OKTATÁSI LEHETŐSÉGEI MULTIMÉDIA SEGÍTSÉGÉVEL

1.1. Multimédia a műszaki tudományok tanításában

1.1.1. Az aerodinamika és a repülésmechanika tantárgyak szerkezete, jellegzetességei

Az aerodinamika, és a repülésmechanika tantárgyak legkönnyebben megnevezhető jellegzetessége, hogy a vizsgálódás kiindulópontja, tárgya maga a repülőszerkezet. Ez tágabb értelemben a merevszárnyú- és forgószárnyas repülőeszközöket, azok tulajdonságait és viselkedését jelenti. A munkámban ezek közül csak a merevszárnyú repülőgép aerodinamikáját valamint repülésmechanikáját, illetve a hozzájuk közvetlenül kapcsolódó tantárgyakat (áramlástan, repülőgép szerkezettan) veszem figyelembe, mert az ezekben szereplő oktatási anyagok multimédiás szemléltetését igyekszem megoldani.

A természet- és műszaki tudományok másik fontos jellegzetessége vizsgálódásuk módszereiben rejlik. E módszerek egyike a jelenségek, objektumok megfigyelése. A megfigyelést követő mozzanat az osztályozás (csoportokba sorolás) [1].

Érdemes végiggondolni, mi indokolja a természettudományokban a megfigyelésen túlmenően az egzakt csoportosítás és a kvantitatív modellalkotás szükségességét. Segítségükkel mindenekelőtt minimálisra csökkenthető a megjegyzendő lexikális ismeretek mennyisége. Nagyon bonyolult vagy elvégezhetetlen kísérletek helyett a modell ismeretében számítógépes szimulációkat is végezhetünk, melyek során bonyolult folyamatok egyes lépéseire alkalmazzuk az elméleti modellt, majd az így kapott helyzetből indítjuk a következő lépést, mindaddig, amíg a kívánt helyzetig (állapotig) el nem jutunk. (Így szimulálható, pl. a repülőgép repülése)

1.1.2. Az aerodinamika és repülésmechanika tanítása

A Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Bolyai János Katonai Műszaki Kar Közlekedésmérnöki Szak Légi-közlekedési, a Had és Biztonságtechnikai mérnöki alapszak, Repülőműszaki szakirányain az aerodinamika [3] és repülésmechanika című tantárgyak a szakmai illetve a differenciált szakmai törzsanyaghoz tartoznak [1]. A jelenségek szemléltetésére a kísérletek, a valóságos repülőgép megfigyelése a legalkalmasabbak. Erre az „igazi valóságra” az aerodinamika oktatásában mindig szükség van, különben a gyakorlati életben használhatatlan tudáshoz lehet csak hozzájutni [4].

A repülőgép aerodinamika valamint repülésmechanika ismeretek tanításának végső célja a szakirányú probléma-megoldási készség kifejlesztése.

1.1.3. Az aerodinamika és repülésmechanika tantárgyakhoz kapcsolódó multimédia(tan)anyagok

A multimédiás oktatási anyagoknak véleményem szerint két dologhoz, kell mindenképpen kapcsolódniuk: az egyik a tantárgy szempontjából nélkülözhetetlen megfigyelés vagy kísérlet, a másik pedig az oktatásban használt tankönyv [2].

Fontos követelménynek tartom, hogy a multimédia-tananyag használata – akár tanórai bemutatásra, akár egyéni tanulásra készült – olyan egyszerű legyen, hogy ne kelljen hozzá külön (nyomtatott) használati utasítás, és annak használata a minimálisan szükséges multimédia-használati ismeretek birtokában rövid idő alatt megtanulható legyen.

1.1.4. A szoftver kiválasztása

A szoftver kiválasztásánál jelentős mértékben befolyásolt az a körülmény, hogy lehetőleg olyan legyen, amely széleskörűen elterjedt és szinte valamennyi számítógépen megtalálható. Magyarországon az IBM PC- k aránya mintegy 90%. Az OFFICE csomag szinte minden számítógépre telepítve van, amelynek része az általam választott szoftver egyike a sokoldalú PowerPoint. Ezen kívül az önállóan futtatható multimédiás alkalmazás elkészítéséhez a NeoBook 5.5.4 multimédia szerkesztő szoftvert használtam.

2. A MULTIMÉDIA ALKALMAZÁSA A HELIKOPTER AERODINAMIKA ÉS REPÜLÉSMECHANIKA TANTÁRGYAK OKTATÁSA SORÁN

A ZMNE BJKMK Repülő Sárkány - Hajtómű Tanszéken az aerodinamika és a repülésmechanika című tantárgyak a szakalapozó tantárgyak közé tartoznak. A szemléltetésre korábban táblai rajzok, írásvetítő transzparenszek szolgáltak, amelyek korlátait igyekszem feloldani a alább bemutatott a multimédiás alkalmazással.

A bemutatás sorrendje követi a tantárgyak tematikáiban meghatározott sorrendet. Az egyszerűtől haladok a bonyolult felé. Az általam elkészített multimédiás anyag a jobb megértést hivatott elősegíteni, miközben az egyszerű ábráknál jelen van előadás közben a táblai élőmunka is. Az anyag biztosítja az ismételhetséget a hallgatók számára.

2.1. A NeoBook multimédiafejlesztő szoftver rövid bemutatása:

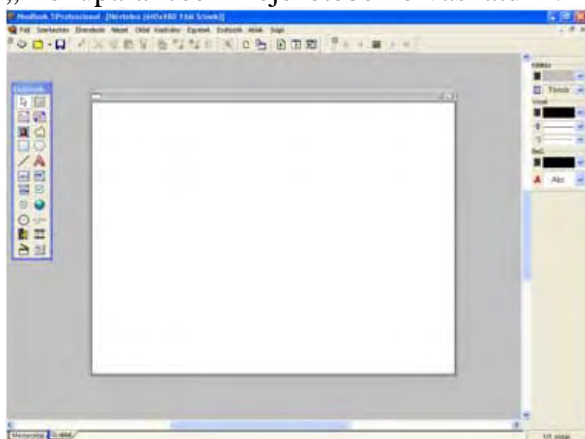
Amikor a NeoBook-ot [5] első alkalommal nyitjuk meg, szerkesztési üzemmódban egy üres kiadvány jelenik meg, készen arra, hogy elkezdjük a munkát. A NeoBook ablak részei a következők:

A NeoBook ablakának felső széle. Ezzel tudjuk az ablakot egy másik helyre mozgatni. Tartalmaz egy „ikon állapot” egy „teljes méret” és egy „ablak bezár” gombot. További információt a címsorral kapcsolatban a Windows dokumentációjában találhatunk.

2.1.1. Főmenü sor

A címsor alatt található a főmenü sor. Bármelyik menüre kattintunk, több almenü pont válik

láthatóvá, amelyek közül választhatunk. A főmenü részletes leírásáról a program súgójának a „Menüparancsok” fejezetében olvashatunk.



1. ábra



2. ábra

2.1.2. Ikonsor

A menübár alatt található egy ikonsor, ahol az általánosan használt szerkesztőparancsok ikonjai találhatók. Ha a kurzort a nyomógomb fölé tartjuk, akkor a hozzá tartozó parancs rövid leírása is megjelenik.

2.1.3. Oldalnavigáló gombok

Az ikonsor jobb oldalán találhatóak a lapozó gombok. A bal szélén található gombbal a legelső oldalra, a mellette lévővel pedig az előző oldalra ugorhatunk. A középső gombbal a *Mesteroldalra*, a negyedik gombbal a következőre, míg a jobb szélső gombbal a legutolsó oldalra ugorhatunk.

2.1.4. Munkaasztal

A képernyő legnagyobb részét a munkaasztal foglalja el. A megnyitott kiadványok ezen a helyen találhatók. Ha egynél több kiadvány van nyitva, akkor egyik dokumentumról a másikra egyszerűen az adott ablakra való kattintással, vagy pedig az *Ablak* menüben felsorolt fájlok egyikére kattintva térhetünk át.

2.1.5. Oldalfülek

A megnyitott kiadvány alsó részénél találhatóak az egyes oldalakhoz tartozó fülek. Ezeken tüntethetjük fel az oldalra utaló rövid címeket. A fülre kattintva az adott oldalra ugorhatunk. Az oldalak sorrendjét egyszerűen megváltoztathatjuk úgy, hogy megfogjuk a fület az egérrel, és a kívánt helyre visszük.

2.1.6. Eszközpaletta

Az eszközpalettán 2. ábra helyezkednek el azok az eszközök, amelyekkel a kiadvány megjelenési formáját készíthetjük el. A palettát a címsoránál fogva áthelyezhetjük máshova.

Az eszközpaletta részei:

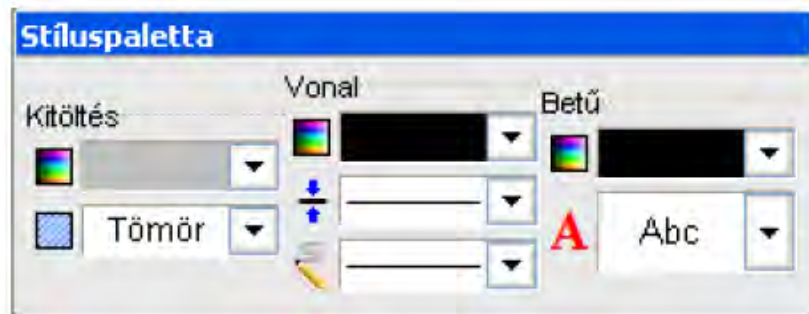
Az objektumokat az *Eszközpaletta* gombjaival hozhatjuk létre. Minden egyes gomb más és más típusú NeoBook objektumot képvisel, amelyek különböző lehetőségekkel és tulajdonságokkal rendelkeznek. Egy új objektum létrehozásához válasszunk ki egy (a kiválasztó gombtól különböző) gombot az *Eszközpalettán*, és az egérrel húzzunk egy négyszöget a kiadványunk oldalán. A legtöbb objektumtípusnál egy tulajdonság ablak jelenik meg, amelyik további információkat igényel. Például egy kép vagy egy cikk objektumnál meg kell adni a kép, illetve a szöveges fájl nevét.

2.1.7. Stíluspaletta

A stíluspalettán az objektum megjelenését változtathatjuk meg: kitöltését, körvonalát és a betűk tulajdonságait.

2.1.8. Gördítősáv

Ha olyan részletét akarjuk szerkeszteni a kiadványnak, amelyik a képernyőn kívülre esik, akkor a gördítősáv segítségével juthatunk az adott helyre.



3.ábra

2.1.9. Oldalmutató

A jobb alsó sarokban jelenik meg, hogy éppen melyik oldal látható a munkaasztalon.

2.1.10. A munkaterület beállítása

A NeoBook-ban az ablakokat áthelyezhetjük, vagy a fő program ablakának a széleihez igazíthatjuk. Az ablakok címsoránál vagy a széléhez igazított egységek szélénél megfogva lehet ezeket elmozdítani. Ha az ablakok mozgatása közben lenyomva tartjuk a Ctrl billentyűt, akkor az nem tapad oda a munkaterület széléhez, hanem továbbra is úszó ablak marad. El is rejthetjük ezeket a kis bezár gombokra kattintva, vagy ha megszüntetjük a kijelölést a *Nézet* menüpont alatt. (Az Eszközpaletta és a Stíluspaletta nem rejthető el.)

Szükség lesz a képekre, amelyeket célszerű a PowerPoint szoftver saját rajzeszközeivel elkészíteni, majd képként menteni WMF, vagy PNG formátumba és egy „Képek” mappában tárolni őket.

A szövegeket szintén külön célszerű elkészíteni és TRF, vagy TXT formátumba elmenteni egy külön erre a célra létrehozott „Szövegek” mappába.

2.1.12. A NeoBook Fordítás (Compile) funkciója

A kiadvány fordítása, másolása egy másik rendszerben való használathoz azt jelenti, hogy a *NeoBook Fordítás (Compile)* funkcióját használjuk. Ez a folyamat a kiadványunkból egy önállóan futtatható számítógépes programot készít, amit könnyen átvihetünk egy másik rendszerbe. A lefordított kiadvány használatához nem szükséges maga a *NeoBook* program.

Ezek után nézzük meg az elkészült önállóan futtatható multimédiás programunkat:

A program elindítása után a kezdő oldal jelenik meg és a „PROGRAM BETÖLTÉSE”(4. ábra).



4. ábra A program kezdő oldala



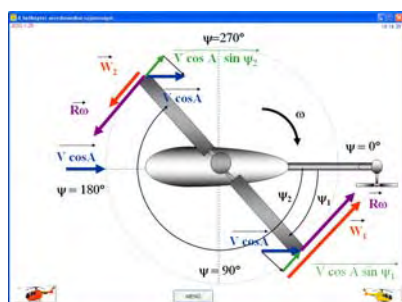
5. ábra A főmenüt tartalmazó oldal

Ekkor megjelenik a „FŐMENÜ” oldal ahonnan a menü oldalak hívhatók meg (5.ábra).

Bármelyik témakör tetszőlegesen választható a tanulmányozáshoz! Válasszuk a „FERDE ÁTÁRAMLÁS I.” témarészt a program további bemutatásához (6.ábra).

A cikk további részében példaként a helikopter repülésmechanikája témaköréből válogatva mutatom be a program működését.

A helikopterek legfontosabb üzemi állapota a stacionárius, vízszintes repülés. A mérsékelt sebességgel történő vízszintes repülést, mint egyenes-vonalú egyenletes mozgást vizsgáljuk. Ekkor ábrázolnunk kell vízszintes repüléskor a helikopterre ható erőket és az egyensúlyi feltételeket a repülési pálya, valamint arra merőleges irányban. Ez utóbbiakból pedig nem nehéz belátni, hogy a vízszintes repülés sebessége függ a levegő sűrűségétől, a felületi terheléstől és a felhajtóerő tényezőtől. A 7. ábra segítségével az összefüggések lényegének bemutatása történik.



6. ábra

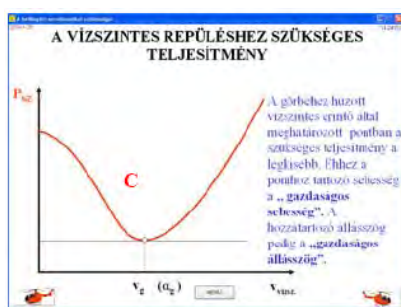


7. ábra

A gyakorlatban grafikus módszer terjedt el a stacionárius, vízszintes repüléshez szükséges teljesítmény (helikoptereknél), valamint a hajtómű által szolgáltatott teljesítmény meghatározására a vízszintes repülési sebesség függvényében [4].

A szükséges vonóerő görbén található két-két jellegzetes pont: a vízszintes érintő és a koordináta rendszer kezdőpontjából a görbéhez húzott érintő érintési pontja.

A görbéhez húzott vízszintes érintő által meghatározott „C” pontban a szükséges teljesítmény a legkisebb. Ehhez a ponthoz tartozó sebesség az „**gazdaságos sebesség**”. A hozzátartozó állásszög pedig az „**gazdaságos állásszög**” (8. ábra).



8. ábra



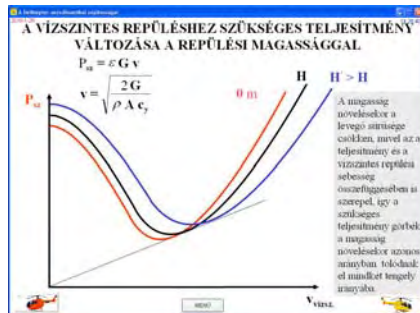
9. ábra

A koordináta rendszer kezdőpontjából húzott érintő által meghatározott „D” pontban a szükséges tolóerő és a sebesség hányadosa minimális. Ehhez a ponthoz tartozó sebesség az „**optimális sebesség**”. Ezzel a sebességgel repülve minimális az 1 km. távolság megtételéhez szükséges tüzelőanyag, így a **repülési távolság** a legnagyobb lesz. (9. ábra).

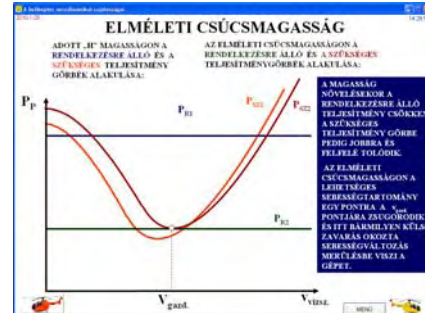
A program következő oldalán a repülési magasság változás hatását szemléltetem. A három különböző repülési magassághoz tartozó görbék sorrendben történő megjelenítése mellett a változás jellegének magyarázata is megjelenik szövegesen (10. ábra).

A következő programoldalon a repülési magasság változás hatását szemléltetem (11. ábra).

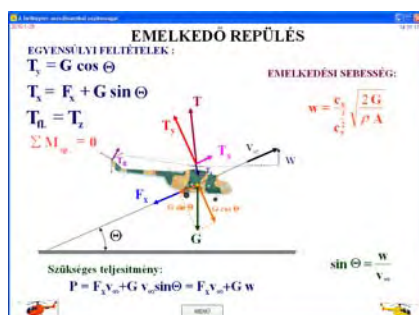
A vízszintes repüléstől eltérően emelkedő repüléskor a pályahajlásszög zérustól eltérő és pozitív. Stacionárius emelkedésben a szintén anyagi pontnak tekintett helikopterre ható erőket szemlélteti a 12. ábra. Az erők pálya menti és arra merőleges irányban vannak megrajzolva, valamint e két irányban lettek felírva az egyensúlyi egyenletek is.



10. ábra



11. ábra



12. ábra



13. ábra

Negatív pályahajlásszög esetén a helikopter siklásáról beszélünk. Az erők pálya menti és arra merőleges irányban vannak megrajzolva, valamint e két irányban lettek felírva az egyensúlyi egyenletek is. (13. ábra).

A helikopter siklási sebességét a repülési pálya hajlásszögének függvényében megadó görbe a siklási poláris. A rajz segítségével a szerkesztés menetének megismerése és a siklási polárisból leolvasható adatok értelmezése (v - pályairányú sebesség, v_x - földhöz viszonyított sebesség, w - függőleges süllyedő sebesség) történik

A NEOBOOK programhoz használt képek a PowerPoint programmal lettek megrajzolva és lementve JPG, illetve PNG formátumba.

A kész és teljes, önállóan futtatható, „HELIREPMECHANIKA” exe. program használható a helikopter repülésmechanikája témakörök oktatásánál úgy a BsC. képzésben, mint a különböző tanfolyamok során.

FELHASZNÁLT IRODALOM:

- [1] BÉKÉSI LÁSZLÓ, A multimédia alkalmazási lehetőségei a helikopter aerodinamika tantárgy elsajátítási hatékonyságának növelésében. Repüléstudományi közlemények 1999/1 Repüléstudományi konferencia 1999. április 17.
- [2] CH. SPANIK – H. RÜGHEIMER, A multimédia alapjai, Kossuth Könyvkiadó 1995.
- [3] POKORÁDI LÁSZLÓ, Aerodinamika. I., II., III. Főiskolai jegyzet, MH. Szolnoki Repülőiszti Főiskola, 1993.
- [4] Helikopter aerodinamika. Re/565 HM. 1965.
- [5] RENNER PÉTER, Neosoft Corp.: Készítsük elektronikus kiadványt, multimédiás CD-t egyszerűen a NEOBOOK Professional for Windows programmal.

STATISZTIKAI MODELL A FURAT GYÁRTÁSI HIBÁI ÉS HELYZETTŰRÉSE VONATKOZÁSÁBAN

STATISTICAL MODEL THE BORE IN THE CONCERN OF HIS PRODUCTION MISTAKES AND HIS SITUATION TOLERANCE

MONOSTORINÉ HÖRCSIK Renáta¹, DR. DUDÁS Illés²

¹PhD hallgató, ² DSc professzor, témavezető

Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék

¹renata.horcsik@uni-miskolc.hu, ²illes.dudas@uni-miskolc.hu

Kivonat: Az alkatrészek gyártásánál – különösen a furatos alkatrészeknél – a helyzettűrések betartása, ill. annak vizsgálata (hogy a gyártás során hogyan alakulnak a megmunkált furatok helyzethibái, milyen törvényszerűségeket követnek), nagyon fontos kérdés az alkatrész további sorsát tekintve. A koordináta mérőgépek segítségével a helyzethibák mérhetők. A mi statisztikai modellünk a furat gyártási hibái és helyzettűrése között sok mérés alapján vizsgálta a furatok helyzethibáinak alakulását. A modell és a megoldások segíthetnek gyártáskor kiválasztani azt a gyártóberendezést, amellyel a tervezett tűrés előírást elérhetjük. A cikkben bemutatásra kerülő korábbi kísérletünkre alapozva, a gyártási helyzeti hibákra vonatkozó idealizált 2D-s modell összefüggései felírhatóak.

Kulcsszavak: helyzettűrések, furatok, statisztika, 3D-s mérés

Abstract: The production of the components – particularly the bore components – the situation tolerances doing the dirty, concerned its examination (how the situation mistakes of the wrought bores develop how in the course of the production, what kind of necessities are observed), very important question considering the additional fate of the component. The coordinate with the help of gauge machines the situation mistakes measurable. Our statistical model examined his establishment based on many measurements between the production mistakes of the bore and his situation tolerance. The model and the solutions may help to select the manufacturer equipment with which the planned one is tolerance at the time of production regulation we may reach it. Based on our earlier experiment being presented in the article, onto the production positional mistakes relevant idealized 2D-s a model's contexts can be written down.

Keywords: situation tolerances, bores, statistics, 3D-s measurement

1. IDEALIZÁLT 2D MODELL A GYÁRTÁSI HIBÁKRA

A 2D-s modell a szerszámgép asztal síkjában (x-y irányokban) veszi figyelembe a helyzethibákat. A függőleges irányban jelentkező tájolási hibákat nem veszi figyelembe, mivel olyan vékony anyagokba készített furatokra érvényes, ahol a merőlegességi hibákkal nem számolunk.

A 2D-s modellen belül két különböző rendszert különböztetünk meg:

- „Beállító Rendszer”;
- „Rögzített (fix) Rendszer”.

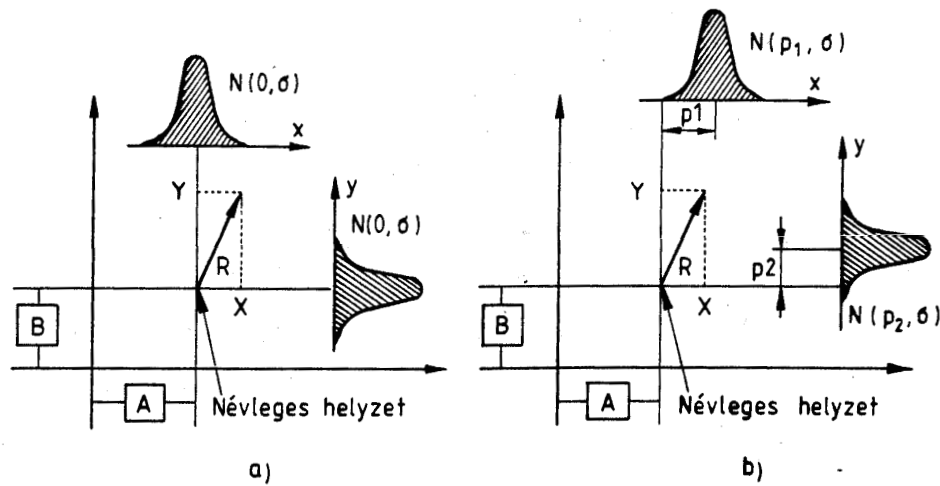
1.) Beállító Rendszer:

Ha egy furatot egy NC gépen készítenek, elvileg mindig lehetőség van az x-y irányokban lévő hibák átlagai eltéréseinek elmozdulását beállítani és kompenzálni (1. a) ábra).

2.) Rögzített (fix) Rendszer:

Ha egy furatot egy manuális (kézi vezérlésű) géppel munkálunk meg és a szerszám vezetését és irányítását egy készülékkel biztosítják, akkor a névleges helyzethez viszonyított

x-y iránybeli hibák átlagainak ellensúlyozása nem lehetséges (1. b) ábra).



1. ábra a) Modell a „Beállító Rendszer”-re, b) Modell a „Rögzített (fix) Rendszer”-re [2]

1.1. Helyzettűrés

Legyen X = az x irányú helyzethiba a névleges helyzetre vonatkoztatva,

Y = az y irányú helyzethiba a névleges helyzetre vonatkoztatva,

$f_{I(i)}$ = az I változó sűrűségfüggvénye,

t_Φ = furatméret tűrésmező,

t_p = helyzettűrésmező,

$\Pr\{A.H.S.\}$ = az elfogadható furatméret valószínűsége,

$\Pr\{A.P.\}$ = az elfogadható helyzet valószínűsége,

$\Pr\{A.H.\}$ = az elfogadható furat valószínűsége (helyzet és méret).

A helyzettűrésre az elfogadható helyzetet az

$$R \leq t_p/2 \quad (1)$$

képlet adja meg.

Ha a furatátmérő Φ normál eloszlású az μ_Φ átlaggal és σ_Φ szórással, akkor az elfogadható furatméret valószínűsége a következőkkel adott:

$$\Pr\{A.H.S.\} = \Pr\{\mu_\Phi - t_\Phi/2 \leq \Phi \leq \mu_\Phi + t_\Phi/2\} = 2\Phi(t_\Phi/2, \sigma_\Phi) - 1 \quad (2)$$

ahol :

$$\Phi(s) = \int_{-\infty}^s \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{t^2}{2}\right\} dt. \quad (3)$$

Feltételezve, hogy a Φ furatméret és R helyzethiba függetlenek, akkor egy elfogadható furat valószínűsége a következőkkel adott:

$$\Pr\{A.H.\} = \Pr\{A.H.S.\} \cdot \Pr\{A.P.\} = [2 \Phi(\frac{t_p}{2\sigma_\phi}) - 1] \cdot \Pr\{A.P.\} \quad (4)$$

A $\Pr\{A.P.\}$ -re vonatkozó kifejezést mindkét esetre külön kell megadni [2].

Beállító Rendszer: egy beállítható rendszerre az elfogadható helyzet valószínűsége a

$$\Pr\{A.P.\} = \Pr\{R \leq t_p/2\} = \int_0^{t_p/2} f_R(r) dr \quad (5)$$

összefüggéssel meghatározható. Amikor X és Y független és azonos eloszlású normál változókkal, zérus középpértékkel és állandó σ^2 szórásnégyzettel, az $\sqrt{R = X^2 + Y^2}$ -nek az $f_R(r)$ sűrűsége a Rayleigh eloszlás:

$$f_R(r) = (\frac{r}{\sigma^2}) \exp\{-\frac{r^2}{2\sigma^2}\} \quad (6)$$

Ezek után:

$$\Pr\{A.P.\} = \int_0^{t_p/2} \frac{r}{\sigma^2} \exp\{-\frac{r^2}{2\sigma^2}\} = 1 - \exp\{-\frac{t_p^2}{8\sigma^2}\} \quad (7)$$

és

$$\Pr\{A.H.\} = [2\Phi(t_p/2) - 1][1 - \exp\{-\frac{t_p^2}{8\sigma^2}\}] \quad (8)$$

Rögzített Rendszer: hasonló módon, az elfogadható helyzet valószínűsége a fix rendszerre a

$$\Pr\{A.P.\} = \Pr\{\sqrt{R = X^2 + Y^2} \leq \frac{t_p}{2}\} = \Pr\{(x, y) \in D\} = \iint_D f_{X,Y}(x, y) dy dx \quad (9)$$

képlettel adott.

Az X, Y kapcsolt sűrűsége:

$$f_{x,y}(x, y) = 1/(2\pi\sigma^2) \exp\{-\frac{1}{2}((x - p_1)/\sigma)^2 - \frac{1}{2}((y - p_2)/\sigma)^2\} \quad (10)$$

és

$$\Pr\{A.P.\} = \int_{t_p/2}^{\beta} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\{-\frac{1}{2}[\frac{x - p_1}{\sigma}]^2 - \frac{1}{2}[\frac{y - p_2}{\sigma}]^2\} dy dx \quad (11)$$

$$\alpha = -\sqrt{t_p^2/4 - x^2} \text{ és } \beta = \sqrt{t_p^2/4 - x^2}.$$

A (11) egyenlettel felírt integrálnak nincs zárt alakban megoldása és numerikusan kell

értékelni. Felvéve I-nek, azt kapjuk, hogy:

$$\Pr\{A.H.\} = [2\Phi(\frac{t_p}{2\sigma_\phi}) - 1] \cdot I [2].$$

2. A VALÓSZÍNŰSÉG ELMÉLET ALKALMAZÁSA FÚRÁSRA

2.1. Furatmegmunkálás

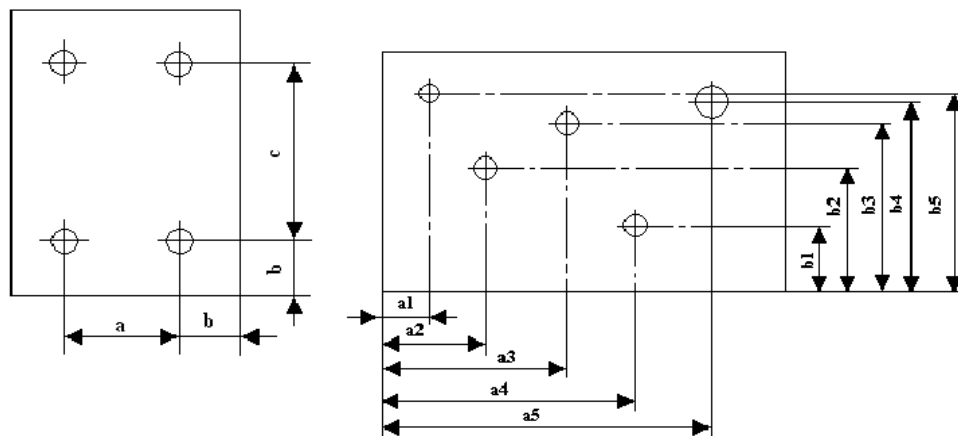
A furatmegmunkálás azt jelenti, hogy méretes szerszámokkal (fúrókkal, süllyesztőkkel, dörzsárákkal és menetfúrókkal) vagy egyélű szerszámokkal belső hengeres felületek megmunkálását végezzük. Vagyis a furat-megmunkálási módba azok a forgácsolási eljárások tartoznak, amelyek közös vonása, hogy a több élű forgácsolószerszám általában saját tengelye körül forogva végzi a forgácsoló főmozgást és tengelye mentén egyenes vonalú, egyenletes haladó mozgást végez, ami az előtoló mozgással lesz azonos. Furatmegmunkálásnál a forgácsolt felület *belső* henger- vagy kúppalást, sík, ill. általános forgásfelület. A fenti csoportosítási ismérvek csak általában határolják be a furat-megmunkálási módot, itt is lehetséges kivétel vagy határeset [1].

2.2. Furatok helyzet-meghatározása

A furatok helyzetét többféleképpen lehet megadni.

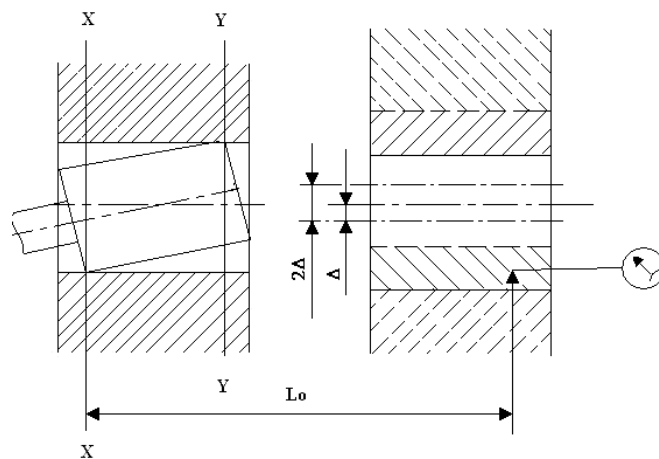
A furatok helyzetén azt értjük, hogy a furat hogyan helyezkedik el az alkatrészek geometriai határoló felületeihez képest, ill. milyen a furatok egymáshoz viszonyított helyzete. A furatot tengelyvonala helyzetével jellemezzük.

Utóbbit az alkatrészrajzokon pontos méretekkel adják meg és a méreteket egy geometriailag egyértelműen jellemzett középvonalhoz – vagy egy felülethez, bázishoz – viszonyítják (2. ábra).



2. ábra Furatok derékszögű beméretezése [3]

Újszerű módszer a koordináta-mérőgéppel végzett mérés, amellyel vizsgálni tudjuk azt a felületet, ahol a szerszám (fúró) belép az anyagba és azt, ahol kilép a felületből. Így következtetni tudunk, pl. az excentricitás mértékére, amit egyszerű mérőeszközökkel nem tudunk mérni (3. ábra).



3. ábra Furat egytengelyűségének ellenőrzése [3]

2.3. A furatátmérők ellenőrzése

Minden mérés célja a mérőszám meghatározása.

Valamely furat mérésénél, mint minden térbeli alak méretellenőrzése folyamán, nem egyetlen méretet, hanem több méretet kell megmérni.

Ha egy előírt minőségű hengert mikrométerrel több síkban és minden síkban több irányban megmérünk, még mindig nem győződünk meg a henger geometriai alakhelyességéről.

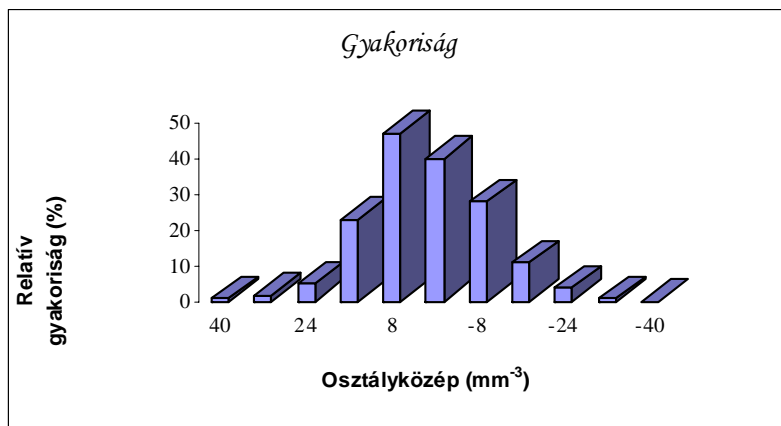
A furatmegmunkálás hibáit több tényező is okozhatja.

2.4. A furatok helyzet adatainak elemzése

Az 1. diagramban a furatok Y irányban, míg a 2. diagramban az X irányban mért eltérés adatainak leíró statisztikai feldolgozása látható, ill. az értékek (1., 2. táblázat), melyek alapján a diagramot szerkesztettem, a diagram felett található.

Osztályközép	40	32	24	16	8	0	-8	-16	-24	-32	-40
Relatív gyakoriság	1	2	5	23	47	40	28	11	4	1	0

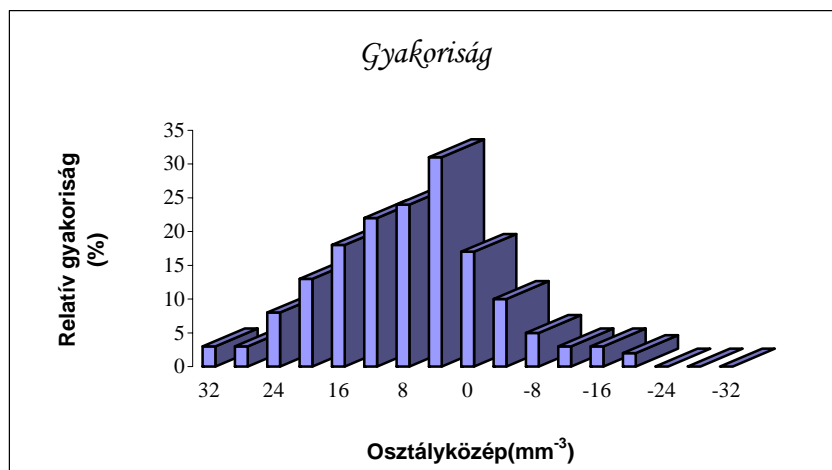
1. Táblázat Mért értékek



1. Diagram

Osztályközép	32	28	24	20	16	12	8	4	0	-4	-8	-12	-16	-20	-24	-28	-32
Relatív gyakoriság	3	3	8	13	18	22	24	31	17	10	5	3	3	2	0	0	0

2. Táblázat Mért értékek



2. Diagram

A kiértékeléshez szükséges statisztikai jellemzők meghatározása:

	n	X	R	s
1. diagram	162	2,71	68	11,7
2. diagram	162	4	54	10,2

3. Táblázat Statisztikai jellemzők

3. KÖVETKEZTETÉS

A gépet, a készüléket és a megmunkálás körülményeit és a táblázatok adatait figyelembe véve megállapítható, hogy a nagy terjedelmet és szórást és ezáltal a furatok helyzetéből származó selejtek nagy számát a fúró kihajlása, aszimmetrikus köszörülés és egyéb szerszámmal összefüggő tényezők okozzák.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a kutatómunka a K 63377. sz. OTKA kutatási project támogatásával készült, címe: “Complex analysis of the features of production geometry and meshing in case of up-to-date application”. (Témavezető: Dr. Dudás Illés)

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **DR. DUDÁS ILLÉS:** Gépgyártástechnológia I., Miskolci Egyetem
- [2] **DR. PAP JÓZSEFNÉ DR. ÉS SZERZŐTÁRSAI:** 3D mérőgép honosítása alkalmazástechnikai referencia helyének kiépítése és dokumentálása, Miskolc, 1990. szeptember
- [3] **HÖRCSIK RENÁTA:** Koordináta méréstechnika elmélete és gyakorlati alkalmazása, Diplomamunka, Miskolc, 2003.

LEFEJTŐMARÓ GYÁRTÁSGEOMETRIAI VIZSGÁLATA EXAMINATION OF PRODUCTION GEOMETRY OF HOB

BODZÁS Sándor¹, Dr. DUDÁS Illés²

¹ PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék, 3515 Miskolc, Egyetemváros
¹sandor.bodzas@uni-miskolc.hu

² egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék, 3515 Miskolc, Egyetemváros
²illes.dudas@uni-miskolc.hu

Kivonat: A csavarfelületek egyik legfontosabb területe a csigakerekek lefejtőszerszámmal való előállítása. A lefejtőmaró főbb tulajdonságainak, gyártásgeometriájának ismerete fontos a pontos és megfelelő minőségű gyártáshoz, mivel ezzel a szerszámmal állítjuk elő a különféle fogaskerekeket, csigakerekeket és egyéb fogazott alkatrészeket. A PhD munka a csigahajtások kutatásával kapcsolatos, amelyhez elengedhetetlen a lefejtő szerszám geometriai ismerete.

Kulcsszavak: csigakerék, lefejtőmaró, gyártásgeometria

Abstract: One of the most important areas of helical surfaces is the production of worm gears by the help of hob. Knowing the main characteristics and production geometry of the hob is important for the accurate and appropriate quality production, because we produce the various cog wheels, worm gears and other dentated components with this tool. The PhD work makes research into worm gear drives, to which knowing the geometry of the hob is essential.

Keywords: worm gear, hob, production geometry

1. BEVEZETŐ

A csiga gyártásához alkalmazott szerszám alakja és a megmunkálás során elfoglalt helyzete meghatározza a csiga fogazatának geometriai alakját, ugyanakkor a csiga geometriája határozza meg azt a szerszámot, amellyel a csigakereket megmunkáljuk. [5] Ebből következik, hogy amíg a csiga fogazatát előállító szerszám egyetemes lehet – és általában ezt is alkalmazzák – addig a csigakerék fogazatát egyedi, különleges szerszámmal kell megmunkálni. (1. ábra)

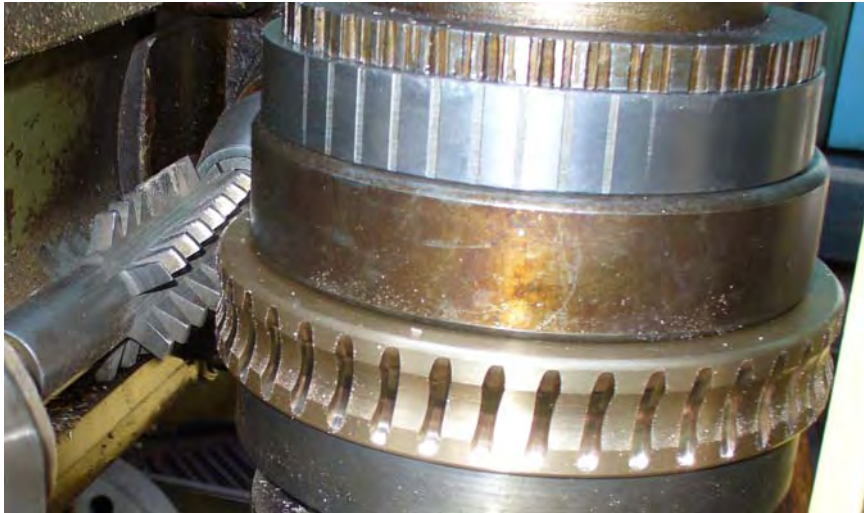


1. ábra Csigakerék lefejtőmarók

Lefejtőmaró burkolófelülete olyan csiga, amelyen forgácsornyok vannak kialakítva. A maró fogakat hátraesztergálják és hátraköszörülnek az újraélezhetőség biztosítása céljából. A maró fogprofilja normálmetszetben az alapcsiga profillal egyezik meg.

2. KÖZVETLEN MOZGÁSLEKÉPEZÉS

A csigakerék simító megmunkálására általában olyan szerszámot alkalmaznak, amelynek burkolófelülete megegyezik a kerékkel kapcsolódó csigáéval. Megfelelő kinematikai mozgás révén ezt közvetlen mozgás leképezésnek nevezzük. (2. ábra)



2. ábra Közvetlen mozgásleképezés

A megoldás előnye: nincs fogankénti osztás, így megszakítás nélküli a munka. A szerszám kinematikus nyoma hozza létre a fogprofilt. [4, 5]

Gyártáskor a csigakerék lefejtőmaró tengelyét olyan mértékben kell megdönteni, hogy a munkadarabbal kapcsolt marófogak normálsíkja a fogazandó kerék fogirányvonalára merőleges legyen. Csavarvonalú homlokfelületet kell kialakítani.

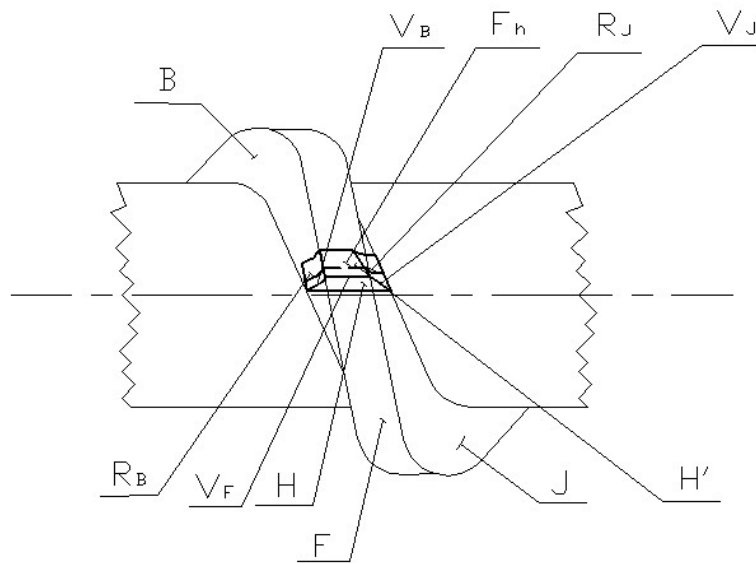
A maró úgy munkálja ki a csigakerék fogait, hogy a forgómozgás mellett a csigakerékhez tangenciálisan, azaz saját tengelye irányában előre halad. Az ilyen típusú lefejtőmarókat bekezdő kúppal látják el. Tangenciális előtolás közben a profil lemetsződése nem következhet be. [7, 10]

3. A SZERSZÁM FELÜLETEI, ÉLEI

A szerszám egy fogának határoló felületeit és a forgácsolóélt a 3. ábra szerint értelmezzük. A fogat határoló fontosabb felületek és élek (3. ábra):

- felületek:

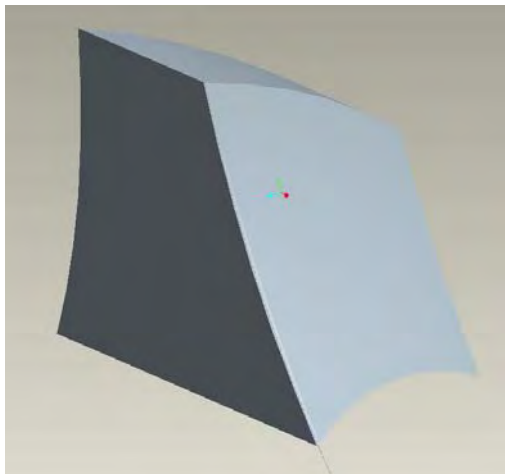
- H homlokfelület;
- R_B, R_J hátfelületek (bal ill. jobb fogoldal);
- F_h fejszalag - hátfelület;
- H' homlokfelület (élezés után);
- F fejszalag.



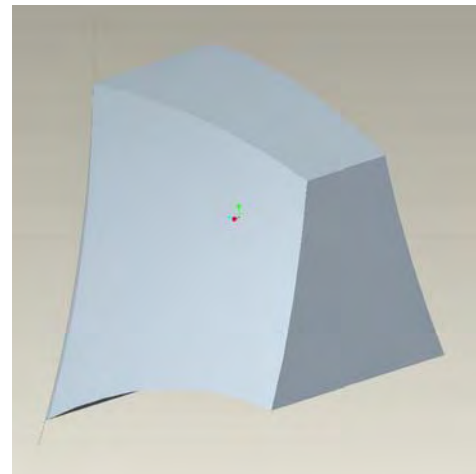
3. ábra A lefejtőmaró felületelemei és élei

- élek:

- V_B bal oldalél, amely a B fogfelület és a H homlokfelület metszésként keletkezik;
- V_J jobb oldalél, mely a J jobb fogfelület és a H homlokfelület metszésként keletkezik;
- V_F fejlél, mely a lefejtőmaró F fejszalag és a H homlokfelületének metszészvonala.



a) homlokfelületi nézet



b) hátfelületi nézet

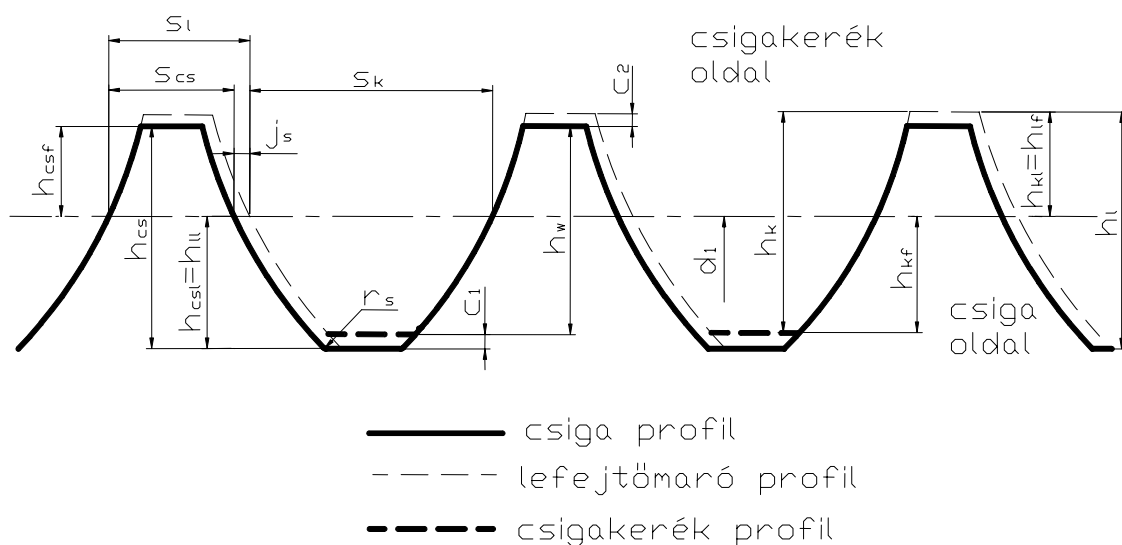
4. ábra A lefejtőmaró egy foga Pro Engineer szoftverrel

A 4. ábrán a lefejtőmaró egy foga látható különböző nézetekből, ami Pro Engineer tervezőszoftver segítségével készült.

Az R_B és R_J hátfelületek kialakításakor a forgácsolási folyamatra való hatásán túl főként a

szerszám újraélezhetőségére gyakorolt hatását (profilpontosság biztosítása) kell figyelembe venni. Mivel a lefejtőmarók bonyolult geometriájú, drága szerszámok, nagy jelentőségű a szerszám minél többszöri újraélezésének lehetővé tétele már a szerszám geometriai kialakításakor. [6, 8]

4. CSIGA -, CSIGAKERÉK- ÉS LEFEJTŐMARÓ PROFILOK RELATÍV HELYZETE



5. ábra Csigá-, csigakerék- és lefejtőmaró alaprofilja

Jelölés	Megnevezés	Jelölés	Megnevezés
S_l	Lefejtőmaró fogvastagság	c_1	Lábhézag
S_{cs}	Csiga fogvastagság	c_2	Fejhézag
S_k	Csigakerék fogvastagság	h_w	Hasznos fogmagasság
j_s	Foghézag	d_1	Csiga osztó körátmérő
h_{csf}	Csiga fejmagasság	h_k	Csigakerék fogmagasság
h_{cs}	Csiga fogmagasság	h_{kf}	Csigakerék fejmagasság
h_{csl}	Csiga lábmagasság	h_{kl}	Csigakerék lábmagasság
h_{ll}	Lefejtőmaró lábmagasság	h_{lf}	Lefejtőmaró fejmagasság
r_s	Fogtő görbületi sugár	h_l	Lefejtőmaró fogmagasság

1. táblázat Alkalmazott jelölések

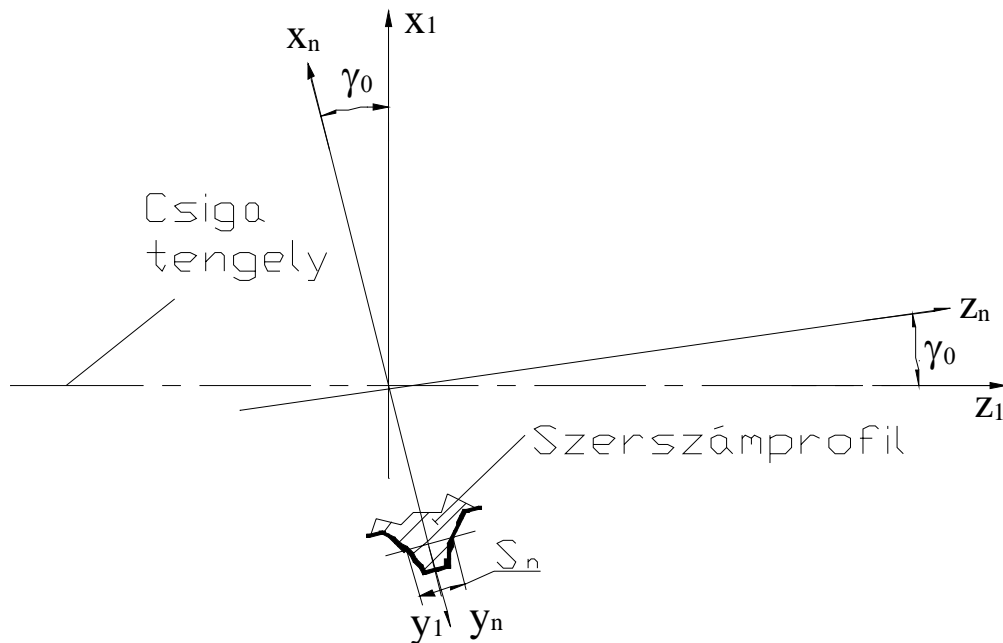
Az 5. ábrán látható, hogy a lefejtőmaró profilja a j_s hézaggal szélesebb, mint a csiga profilja, mivel a szerszám fogszélessége határozza meg a kerék fogszélességét. A helyes, üzemszerű működéshez biztosítanunk kell a csigakerék és a csiga kapcsolódó felületei között egy j_s hézagot többek között az üzemközbeni hőtágulás miatt.

Az is látszik, hogy a csigakerék lábmagassága (h_{kl}) egyenlő a lefejtőmaró fejmagasságával (h_{lf}). Ezzel szemben a lefejtőmaró lábmagassága (h_{ll}) nem egyezik meg a csigakerék fejmagasságával (h_{kf}), mivel a lefejtőmarónak a csigakerékhez való állításakor biztosítanunk kell egy c_1 lábhézagot a geometriailag helyes megmunkálás miatt. A lefejtőmaró lábmagassága (h_{ll}) megegyezik a csiga lábmagasságával (h_{csl}).

A középátmérőn maró fogárokszélessége megegyezik a csigakerék fogszélességével (S_k).

5. ÍVELT PROFILÚ LEFEJTŐMARÓ PROFILJÁNAK EGYENLETE

A maró homloklapja a csiga normálmetszetének felel meg. Így profiljának egyenlete az ívelt profilú csiga egyparaméteres egyenletéből a normál síkkal való metszéssel meghatározható. (6. ábra)



6. ábra Normálsík értelmezése

Az ívelt profilú csiga egyenletrendszer a levezetések mellőzésével:

$$x_1 = -\eta \cdot \sin \Theta \quad (1)$$

$$y_1 = \eta \cdot \cos \Theta \quad (2)$$

$$z_1 = p \cdot \Theta - \sqrt{\rho_{ax}^2 - (K - \eta)^2} + z_{ax} \quad (3)$$

A normálsík egyenlete:

$$x_1 = z_1 \cdot \operatorname{tg} \gamma_0 \quad (4)$$

Megoldva az (1), (2), (3) és (4) egyenleteket, a levezetések mellőzésével az alábbi másodfokú egyenletet kapjuk η_n -re:

$$A \cdot \eta_n^2 - 2 \cdot B \cdot \eta_n + C = 0 \quad (5)$$

ahol:

$$A = \sin^2 \Theta + \operatorname{tg}^2 \gamma_0 \quad (6)$$

$$B = \sin \Theta \cdot \operatorname{tg} \gamma_0 \cdot (p \cdot \Theta + z_{ax}) + K \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma_0 \quad (7)$$

$$C = \operatorname{tg}^2 \gamma_0 \cdot \left[(p \cdot \Theta + z_{ax})^2 + (K^2 - \rho_{ax}^2) \right] \quad (8)$$

A z_{ax} számításánál figyelembe kell venni a csigahajtópár üzemszerű működéséhez szükséges j_n foghézagot is. Mivel az y_1 koordináta a fog szimmetriasíkjában van:

$$z_{ax} = \frac{\bar{S}_{n1}}{2} + \frac{j_n}{2} + \sqrt{\rho_{ax}^2 - (K - \eta)^2} = \frac{\bar{S}_{sz}}{2} + \sqrt{\rho_{ax}^2 + (K - \eta)^2} \quad (9)$$

A levezetett összefüggésekkel konkrét számítást végezve megállapítható, hogy a kapott értékek megegyeznek a legyártott ütökész profiljának mért értékével. Az (5), (6), (7), (8) megoldásából kapjuk a szerszámél koordinátáit, amelyeket a gyártáshoz és a profilellenőrzéshez egyaránt felhasználhatunk.

ÖSSZEFOGLALÁS

A csiga és a csigakerék érintkező felületei egymást kölcsönösen burkolják, ezért a kereket simításkor olyan szerszámmal kell megmunkálni, illetve lefejteni, amely a csigával azonos geometriájú. A csigakerék pontos, megfelelő minőségű gyártáshoz rendkívül fontosak a kerékhez kapcsolódó csiga és a szerszám gyártásgeometriai ismeretei.

A PhD munka részeként a lefejtőmaró radiális és axiális hátramunkálásának gyártásgeometriája, a felületeket leíró egyenletek és az élezések okozta geometriai hatások kerülnek meghatározásra többek között.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a kutatómunka a K 63377. sz. OTKA kutatási project támogatásával készült, melynek címe: „A gyártásgeometria és kapcsolódás jellemzőinek komplex vizsgálata korszerű csigahajtások esetében”. Témavezető: Dr. Dudás Illés, egyetemi tanár

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **BALAJTI ZSUZSA:** Kinematikai hajtópárok gyártásgeometriájának fejlesztése, PhD értekezés, Miskolc, 2007
- [2] **BÁNYAI KÁROLY:** Hengeres csigák gyártás- geometriája és ellenőrzése, Egyetemi doktori disszertáció, kézirat 1987.
- [3] **BODZÁS SÁNDOR:** „OL-3-as lemezolló csigakerék” gyártásának minőségbiztosítása, Diplomamunka, Miskolci Egyetem, 2009, 2009-GGT-39
- [4] **DR. DUDÁS ILLÉS:** Csigahajtások elmélete és gyártása Budapest, Műszaki könyvkiadó, 2007. (ISBN 978 963 16 6047 0)
- [5] **DR. DUDÁS ILLÉS:** Gépgyártástechnológia III. Miskolci Egyetemi Kiadó, 2005 (ISBN 963 661 572 1)
- [6] **DR. DUDÁS ILLÉS:** The Theory and Practice of Worm Gear Drives. Penton Press, London, 2000. (ISBN 1 8571 8027 5)
- [7] **DR. DUDÁS ILLÉS:** Fogazószerszámok fejlesztésének tendenciái hengeres és kúpos lefejtőmarók gyártásgeometriai elmezése, NME, Miskolc
- [8] **DR. DUDÁS ILLÉS:** Korrekte – Abwalzfraser zur korrekten schnecken, Koszalin, 1989, (ISSN 0860 – 0325, p. 289 - 298.)
- [9] **F. L. LITVIN – ALFONSO FUENTES:** Gear Geometry and Applied Theory, Cambridge University Press, 2004 (ISBN 978 0 521 81517 8)

FORGÁCSOLÁSI PARAMÉTEREK FELÜLETI ÉRDESSÉGRE GYAKOROLT HATÁSA KÖRNYEZETKÍMÉLŐ MEGMUNKÁLÁSOKNÁL

IMPACT OF CUTING PARAMETERS ON SURFACE ROUGHNESS IN ENVIRONMENTALLY CONSCIOUS MACHINING

SZIGETI Ferenc*- VARGA Gyula-DEZSŐ Gergely*- PÉTER LÁSZLÓ*- SZÁZVAI Attila***

*Nyíregyházi Főiskola, 4400, Nyíregyháza, Sóstói út 31/B, gepgyartas@nyf.hu

**Miskolci Egyetem, 3515, Miskolc, Egyetemváros, gyulavarga@uni-miskolc.hu

Kivonat: A Nyíregyházi Főiskola Műszaki Alapozó és Gépgyártástechnológia Tanszékén a Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológia Tanszékével szoros együttműködésben 2006 óta folynak minimálkenéssel kapcsolatos kutatások. E cikk keretében bemutatjuk, hogyan befolyásolja a különböző előtolás (f), fúrási úthossz (L_0), és a hűtő-kenő anyag mennyisége a furat átlagos felületi érdességét.

Kulcsszavak: Környezetbarát megmunkálás, száraz megmunkálás, minimálkenés, felületi érdesség, faktoriális kísérlettervezés.

Abstract: Research on minimal volume lubrication is in progress since 2006 at the Department of Production Engineering, College of Nyíregyháza in cooperation with Department of Production Engineering, University of Miskolc. In this paper we would like to present how feed (f), length of drilling (L_0) and the volume of lubricant influences the average surface roughness of the borehole.

Keywords: Environmentally Friendly Machining, Dry Machining, Minimal Volume Lubrication, Surface Roughness, Factorial Experimental Design

1. A KÍSÉRLETEK CÉLJA

A környezetterhelés minimalizálása elvének gyakorlati megvalósítása az Európai Unión belül a gépgyártástechnológiában is fokozatosan előtérbe kerül. Ezért szükségessé válik – egyebek mellett – a forgácsolástechnológiákban használatos hűtő-kenő rendszerek működtetésekor fellépő problémák feltárása és megoldási javaslatok kidolgozása [1,2,6].

A kísérletek célja a forgácsolás technológiai paraméterei forgácsolási folyamatra gyakorolt hatásának vizsgálata szürkeöntvény **külső minimálkenéssel** történő furatmegmunkálásnál. Ennek során mérjük a szerszám előtolásának és az alkalmazott hűtő-kenő folyadék mennyiségének hatását:

- az előtoló erő és fúrási nyomaték szükségletre [3],
- a fúrószerszám kopására (sarok- és hátkopásra) [4],
- a forgácsolt furat átlagos felületi érdességére .

A minimálkenéssel végrehajtott furat-megmunkálási kísérletek eredményeinek kiértékelését a faktoriális kísérlettervezés alkalmazásával végezzük el azért, hogy összefüggéseket határozzunk meg a fúrási technológiai paraméterei és a furatokban mért átlagos felületi érdesség értékek között.

Kísérleteink megtervezésénél felhasználtuk a Miskolci Egyetem Gépgyártás-technológia Tanszékének minimálkenéssel szerzett tapasztalatait [5].

2. A KÍSÉRLETEK KÖRÜLMÉNYEI

A fúrási kísérletekhez használt csigafúró: Ø10,2 K20 Gühring WRDG DIN 6537 (monolit keményfém, TiAlN-el bevonatolt). A próbatest anyaga: szürkeöntvény, EN-GJL-200 (MSZ EN 1561), amelybe 30 mm hosszúságú furatokat készítettünk a kísérletsorozat alkalmával.

A minimálkenés megvalósítása külső hűtéssel, a hűtő-kenő folyadéknak a fúró külső palástjára való hozzávezetésével történt, „NOGA MINI COOL” típusú porlasztó berendezéssel (a térfogatáram $10\text{cm}^3/\text{h}$ és $250\text{cm}^3/\text{h}$ között fokozatmentesen állítható). A forgácsolási kísérletekhez „OMV cut XU” típusú, klórmentes olajat használtunk. A kísérletek végrehajtása MU-250 típusú marógépen az alábbi paraméterekkel történt:

Maróorsó ford.: $n = 2250 \text{ f/perc}$

Előtolás: $f_1 = 0,18 \text{ mm/ford}$, $f_2 = 0,35 \text{ mm/ford}$

Forgácsolási seb.: $v_c = 72,06 \text{ m/perc}$

HKF mennyiség: $\dot{V} = 10 \text{ és } 28 \text{ cm}^3/\text{h}$

Előtolás seb.: $\dot{V}_{f1}^{\text{olaj}} = 405 \text{ mm/perc}$, $v_{f2} = 675 \text{ mm/perc}$

Gépi főidő: $t_1 = 0,074 \text{ perc}$ $t_2 = 0,044 \text{ perc}$

Furathossz: $l_w = 30\text{mm}$

Az axiális fúróerő (F_f) és csavaró nyomaték (M_c) mérése KISTLER 9271 A típusú kétkomponensű, kompakt dinamométerrel történt.

Az elkészített furatok átlagos felületi érdességének (R_a) meghatározásához SJ-201 (Mitutoyo) típusú készüléket használtunk. A felületi érdesség értékek mérése a 30 mm hosszúságú próbatesteken furatonként 5 kontúrvonal mentén történt.

A mérés adatai:

Mérési hosszúság: $l_n = 12,5 \text{ mm}$

Alaphossz: $l = 2,5 \text{ mm}$

A fúrási kísérletek végrehajtása során minden mérést azonos paraméterek beállítása mellett legalább háromszor megismételtünk. A mérési eredményeket a matematikai statisztikai módszerek felhasználásával dolgoztuk fel (meghatároztuk a mért értékek átlagát, szórását, a relatív szórást). A mért átlagértékeket a fúrási út függvényében ábrázoltuk majd regresszióanalízissel meghatároztuk a mérési pontokra legjobban illeszkedő közelítő görbe egyenletét, valamint a korrelációs indexet.

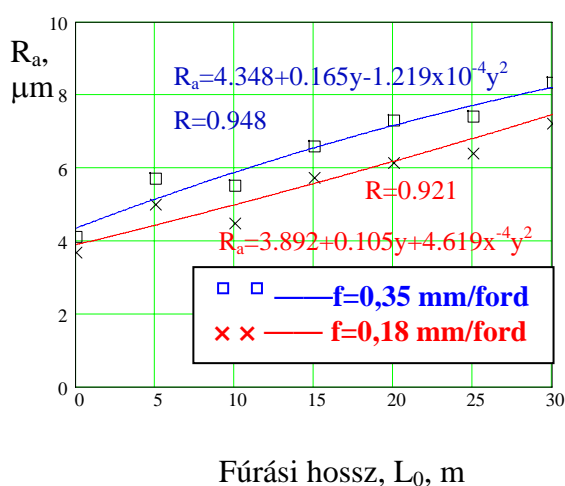
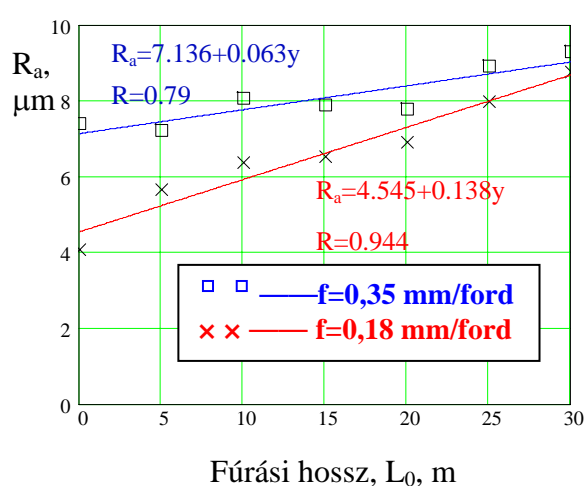
3. A FELÜLETI ÉRDESSÉG MÉRÉS EREDMÉNYEI ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK

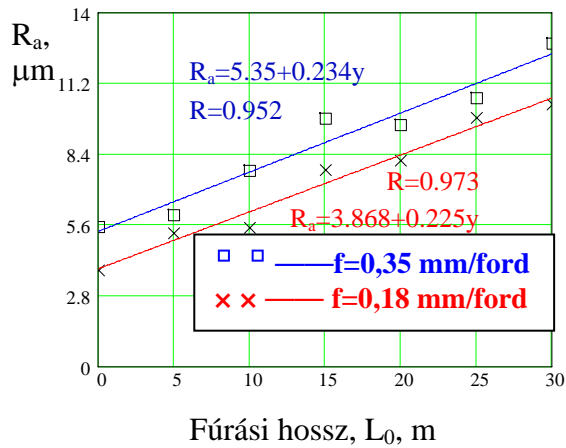
A faktoriális kísérlettervezés módszerének felhasználásával a forgácsolt furat átlagos felületi érdességének vizsgálatára háromszor 12 kísérletet hajtottunk végre. A kísérletek során alkalmazott paraméterek minimális és maximális értékeit az 1. táblázatban adtuk meg. A fúrási úthosszal kapcsolatban megjegyezzük, hogy az $L_0=0,03\text{m}$ jelölés azt jelenti, hogy adott paraméter beállításnál az első 30mm hosszú furat elkészítése után mértük a furatban az átlagos felületi érdességet. Ezt követően ugyanazon paraméter beállítás mellett tovább folytattuk a fúrási kísérleteket ugyanazzal a fúróval és mindig 5 m fúrási úthossz megtétele után mértük 30mm hosszú próbatesten a furat átlagos érdességét egészen 30m fúrási út megtételéig ($L_0=30\text{m}$).

Sorszám	Előtolás, f , mm/ford	Fúrési hossz, L_0 , m	Olaj térfogatáram, \dot{V}_{oil} , cm ³ /h
1	0,18	0,03	0,0
2	0,35	0,03	0,0
3	0,18	30,0	0,0
4	0,35	30,0	0,0
5	0,18	0,03	10,0
6	0,35	0,03	10,0
7	0,18	30,0	10,0
8	0,35	30,0	10,0
9	0,18	0,03	28,0
10	0,35	0,03	28,0
11	0,18	30,0	28,0
12	0,35	30,0	28,0

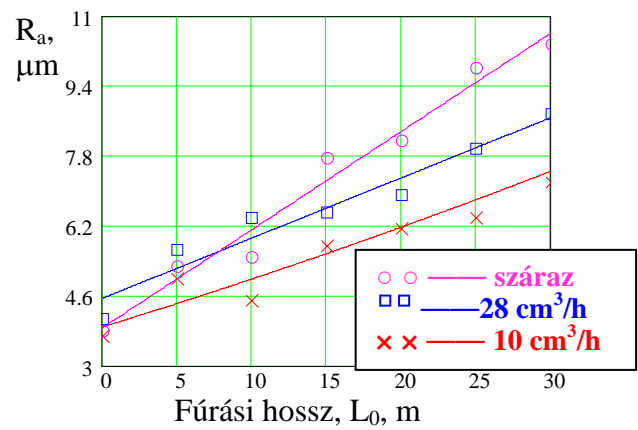
1. táblázat Próbadarab kódok és technológiai paraméter változatok

Az 1.táblázat paraméterhatárai között végzett furatmegmunkálásnál a forgácsolt furatban mért átlagos felületi érdesség (R_a) mérési eredményeit az 1-5.ábrán mutatjuk be. Az ábrákról leolvasható, hogy a felületi érdesség mért értékei a fúrési úttal minden esetben nőttek, a növekedés mértéke azonban szárazmegmunkálásnál lényegesen nagyobb. Az 1-3. ábrákból az is kitűnik, hogy az előtolás $f=0,18$ mm/ford-ról $f=0,35$ mm/ford-ra való növelésével a felületi érdesség romlott, szárazmegmunkálásnál jelentősebb mértékben, mint minimálkenés mellett. A 4-5.ábrák bemutatják a minimálkenés felületi érdességre gyakorolt hatását különböző előtolások mellett. Az ábrákról leolvasható, hogy 10-28 cm³/h nagyságú külső minimálkenéssel a szárazmegmunkáláshoz képest a felületi érdesség jelentősen csökkenthető. Mindkét előtolásnál 10 cm³/h külső hűtéssel jobb felületi érdességet sikerült elérni, mint 28 cm³/h hűtő-kenő folyadék felhasználásával.

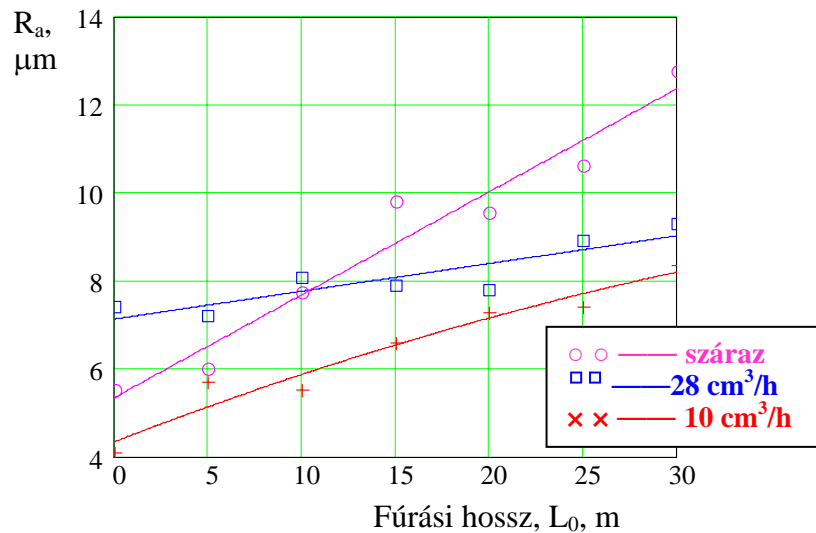
1. ábra A felületi érdesség (R_a) mért értékei
 $V=10 \text{ cm}^3/\text{h}$ minimálkenésnél2. ábra A felületi érdesség (R_a) mért értékei
 $V=28 \text{ cm}^3/\text{h}$ minimálkenésnél



3. ábra A felületi érdesség (R_a) mért értékei szárazmegmunkáláskor



4. ábra A felületi érdesség (R_a) mért értékei $f=0,18$ mm/ford. előtolásnál



5. ábra: A felületi érdesség (R_a) mért értékei $f=0,35$ mm/ford. előtolásnál

A kísérletek eredményei alapján a felületi érdesség mért adataira polinom approximációval a következő alakú függvényeket illesztettük:

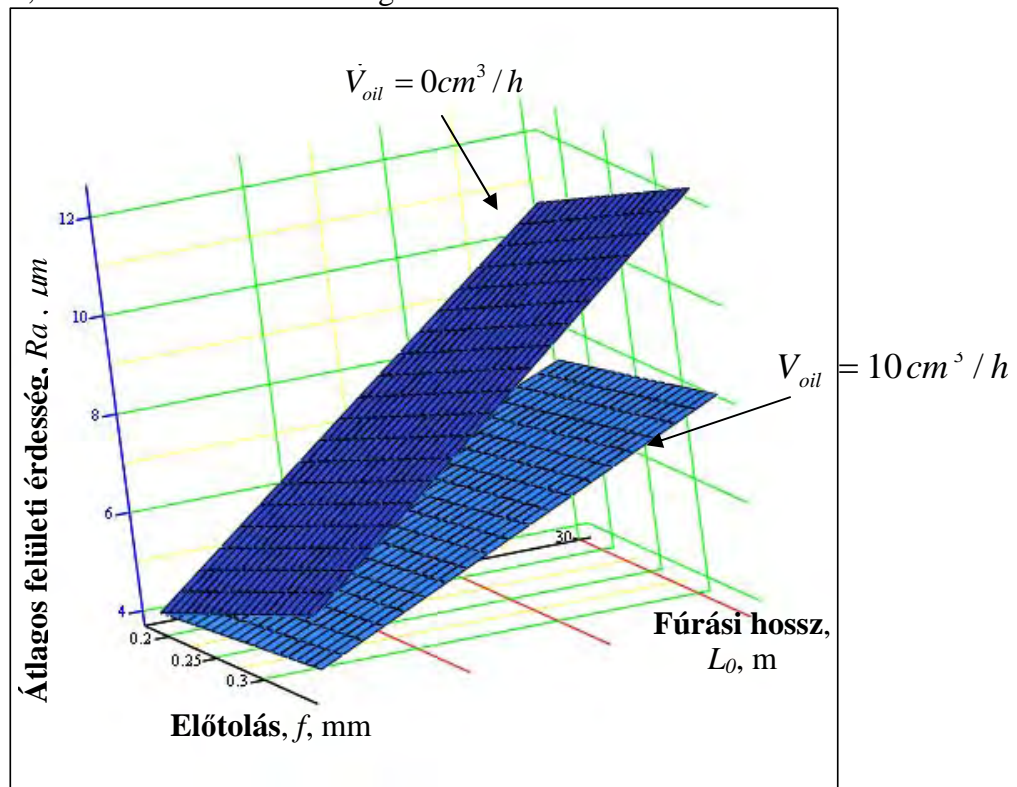
$$Ra = k_0^{Ra} + k_1^{Ra} f + k_2^{Ra} L_0 + k_3^{Ra} \dot{V}_{oil} + k_{12}^{Ra} f \cdot L_0 + k_{13}^{Ra} f \cdot \dot{V}_{oil} + k_{23}^{Ra} L_0 \cdot \dot{V}_{oil} + k_{123}^{Ra} f \cdot L_0 \cdot \dot{V}_{oil} \quad (1)$$

ahol:

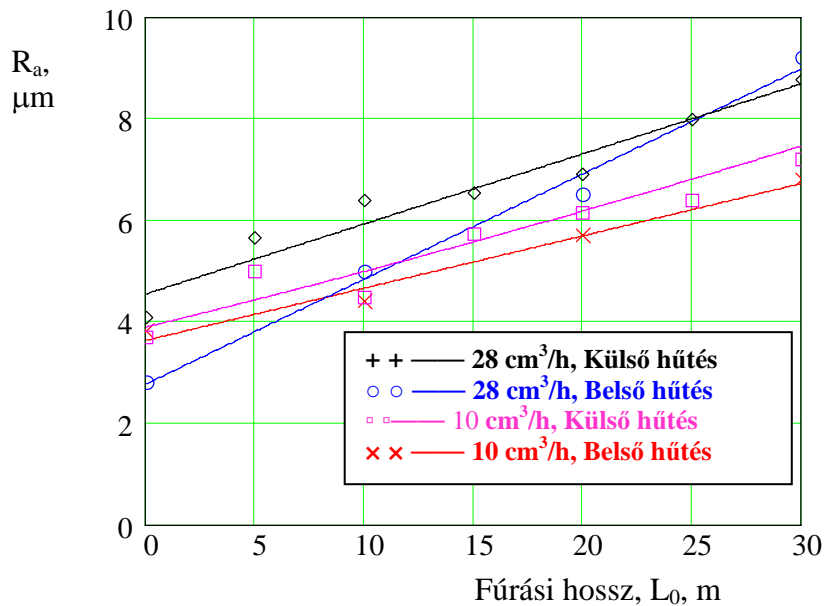
$$\begin{aligned} k_0^{Ra} &= 2,4083 & k_1^{Ra} &= 8,528 & k_2^{Ra} &= 0,21 & k_3^{Ra} &= 0,11 \\ k_{12}^{Ra} &= 0,069 & k_{13}^{Ra} &= -0,647 & k_{23}^{Ra} &= -0,011 & k_{123}^{Ra} &= 1,963 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

Az (1) egyenlet az 1. táblázatban megadott paramétertartományokban érvényes. A paraméter értékek (1) egyenletbe való behelyettesítésével a felületi érdesség értékek kiszámíthatók és szemléltethetők. A 6. ábra a számított felületi érdesség (R_a) értékeit mutatja. Az ábrán jól látható, hogy a felületi érdesség kisebb a nagyobb mennyiségű hűtő-kenő anyag

adagolás mellett, valamint a felületi érdesség romlik a fúrási úttal és az előtolás növelésével.



6. ábra A felületi érdesség számított értékei különböző mennyiségű hűtő-kenő anyag adagolás mellett



7. ábra A felületi érdesség változása külső és belső minimálkenés mellett $f=0,18$ mm/ford.előtolásnál

A 7. ábrán elvégezzük a belső [5] és külső minimálkenés felületi érdességre gyakorolt hatásának összehasonlítását. A 7. ábra alapján megállapítható, hogy belső hűtéssel jobb felületi érdesség érhető el $10\text{-}28\text{ cm}^3/\text{h}$ hűtő-kenő folyadék mennyiség tartományban (belső hűtésnél a hűtés-kenés egyenletes, folyamatos, a hűtő-kenő folyadék közvetlenül a forgácsoló

élekhez jut, külső minimálkenés esetén azonban a fúró hűtése kívülről, szakaszosan történik). Továbbá mind belső, mind külső hűtésnél ugyanolyan tendencia figyelhető meg: a hűtő-kenő folyadék 10 cm³/h-ról 28 cm³/h-ra történő növelésével a forgácsolt furat felületi érdessége romlik [5]. A jelenség okának tisztázására további, részletesebb vizsgálatot igényel.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Vizsgálataink legfontosabb következtetéseit az alábbiakban foglalhatjuk össze:

- Külső minimálkenéssel sikerült megfelelő forgácsolási feltételeket biztosítani szürkeöntvény furatmegmunkálásánál.
- A minimálkenéssel való fúrás kedvezőbb a szárazfúrásnál, mert a minimálkenés jobb hűtést biztosít, javítja a forgács-szerszám kölcsönhatást és fenntartja a szerszám életét.
- A szárazmegmunkáláshoz képest 10-28 cm³/h nagyságú külső minimálkenéssel a forgácsolt furat felületi érdessége jelentősen csökkenthető. Az előtolás növelésével a furat felületi érdessége romlik.
- Belső minimálkenéssel jobb felületi érdesség érhető el, mint külső minimálkenéssel 10-28 cm³/h HKF mennyiség tartományban.
- A felületi érdesség elsősorban a minimálkenés hatására bekövetkező szerszámkopás-csökkenés miatt javult. A forgácsoló él kopásának csökkenése növeli a szerszám élettartamát, a termelékenységet, mert nagyobb előtolást és forgácsolási sebességet tesz lehetővé.
- A teljes faktorális kísérlettervezéssel meghatározott összefüggések alkalmasak arra, hogy egzakt módon meghatározzuk a fontosabb forgácsolási paramétereknek a furat felületi érdességére gyakorolt hatását.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS:

Ez a publikáció a PL-7/2009 jelű Magyar-Lengyel Nemzetközi K&F Együttműködési programon belül készült az NKTH és a Lengyel Szerződő partnere támogatásával. A kutatásokat a Nyíregyházi Főiskola Tudományos Tanácsa kiemelt pályázat keretében támogatta.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **WEINERT, K.:** Trockenbearbeitung und Minimalschmierung. Springer Verlag Berlin 2000.
- [2] **IGAZ, J., PINTÉR J., KODÁCSY, J.:** Minimálkenés. Gépgyártás XLVII. évf. 2007. 4.sz pp.: 22-31
- [3] **DEZSŐ, G., VARGA, GY., SZIGETI, F., PÉTER, L.:** Csigafúró igénybevételeinek vizsgálata kísérleti úton és modellezéssel. GÉP LX.évf. 2009. 12.sz.. pp.:9-14.
- [4] **SZIGETI, F., DUDÁS, I., VARGA, GY., PÉTER, L., SZÁZVAI, A.:** Newer Results of Environmentally Friendly Drilling Manufacturing Operation, XXIII. MicroCAD 2009, International Scientific Conference, March. 19-20, 2009 M szekció, Gépgyártástechnológia és gyártórendszerek, Miskolc, pp.: 211-218., ISBN 978-963-661-866-7 Ö, ISBN 978-963-661-866-878-0
- [5] **DUDÁS, I., VARGA GY., CSERMELY, T., TOLVAJ, I.:** Umweltgerechte Zerspanungstechnik - Reduzierung und Ersatz von Fertigungshilfsstoffen beim Bohren (STD - 2EC jelű, ERB CIPACT 930167 témaszámú), Európai Közösség által finanszírozott kutatási projekt, Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék, 4. Jelentés, 1995., pp.: 27
- [6] **KUNDRÁK, J., MAMALIS, A.G., GYANI, K., et al.:** Environmentally friendly precision machining, Mater Manuf Process 21 (1) : 29-37 Jan 2006

KOPÁSÁLLÓ ACÉL KÖRNYEZETBARÁT FORGÁCSOLÁSA

ENVIRONMENTALLY FRIENDLY CUTTING OF HARD WEARING STEEL

***KOVÁCS Attila - **SZÁZVAI Attila - ***DR. SZIGETI Ferenc**
******DR. VARGA Gyula**

*főiskolai tanársegéd – **műszaki oktató – ***főiskolai tanár – ****egyetemi docens
Nyíregyházi Főiskola – Miskolci Egyetem
kovacs.attila@nyf.hu

Kivonat: A Nyíregyházi Főiskola Műszaki Alapozó és Gépgyártástechnológia Tanszékén a Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológiai Tanszékével szoros együttműködésben 2006 óta folynak minimálkenéssel kapcsolatos kutatások. Ezek az öntvény forgácsolási kutatások kiegészültek a kopásálló Hardox acél fúrási kísérleteivel. Jelen cikk bemutatja a kezdeti eredményeket.

Kulcsszavak: Környezetbarát megmunkálás, fúrák, nyomaték, erő, kopás, felületi érdesség

Abstract: Research on minimal volume lubrication is in progress since 2006 at Department of Production Engineering, College of Nyíregyháza in cooperation with Department of Production Engineering, University of Miskolc. These cutting researches were supplemented with drilling experiments of hard wearing Hardox steels. This paper shows the first results of researching.

Keywords: environmentally friendly machining, drilling, force, moment, wearing, surface roughness

1. BEVEZETÉS

Korunkban a környezet terhelése egyre nagyobb, ami arra ösztönzi a mérnököket, hogy gyártástervező tevékenységüket környezettudatosan végezzék. A termékek megvalósítási, előállítási folyamatában is csökkenteni kell a környezet terhelést növelő szennyező anyagok használatát, illetve a környezetet szennyező anyagokat meg kell semmisíteni. A környezet terhelés csökkentésének hatékony módja lehet az egyre szélesebb körben terjedő minimálkenés alkalmazása, vagy a szárazon történő forgácsolás [1,2]. Ezen eljárások hátránya, hogy a szerszám élettartama csökkenni fog, jelentősebb lesz a forgácsoló szerszám kopása, a súrlódás megnő, ennek következtében nagyobb lesz a szerszám és a munkatér hőmérséklete [3,4].

2. A KÍSÉRLET KÖRÜLMÉNYEI

A fúrási kísérletekhez használt csigafúró: Ø 10,2 L102/55 d12 jelű Sirius210 típusú (nagy termelékenységű, méret pontos és biztonságos fúrára alkalmas, HELICA (AlCrN alapú) bevonatú fúró). A próbatest anyaga: HARDOX 450, (R_m= 1400 MPa) amelybe 30 mm hosszúságú furatokat készítettünk a sorozatkísérletek alkalmával.

A minimálkenés megvalósítása külső hűtéssel, a hűtő-kenő folyadéknak a fúró külső palástjára való hozzávezetésével történt, „NOGA MINI COOL” típusú porlasztó berendezéssel.

A forgácsolási kísérletekhez „OMV cut XU” típusú, klórmentes olajat használunk.

A kísérletek végrehajtása az alábbi paraméterekkel történt:

Fúró fordulatszám: n = 1400 ford/min

Forgácsolási sebesség: $v_c = 44,83 \text{ m/min}$
 Előtolás: $f = 0,14 \text{ mm/ford}$
 Előtolás sebessége: $v_f = 200 \text{ mm/min}$
 HKF mennyiség: $V_{oil} = 50 \text{ cm}^3/\text{h}$
 Furathossz: $l_w = 30 \text{ mm}$



1. ábra. A kísérleti beállítás



2. ábra. KISTLER 9271A típusú erő és nyomatékmérő

2.1. Az előtolóerő és fúrónyomaték méréséhez használt eszközök

Az axiális fúróerő (F_f) és csavaró nyomaték (M_c) mérése egy KISTLER 9271A típusú kétkomponensű kompakt dinamométerrel történt, amely nagy dinamikai szilárdsággal rendelkezik. Így magas a sajátfrekvenciája, amely lehetővé teszi a kisebb dinamikus erőhatások mérését magas alapterheléseknél is.

A KISTLER, 2 komponensű dinamométer technikai adatai:

Típus: 9271 A

Mérési tartomány: F_f [kN]: $-5 \div 20$

M_c [Nm]: $-100 \div +100$

Érzékenység: F_f [pC/N]: $-2,02$

M_c [pC/N]: $-1,6$

Linearitás: %FSO: L 0,3

Üzemi hőmérséklet tartomány, °C: $1-70$

2.2. A szerszám kopás mérése

A fúró elhasználódásának jellemzésére a sarokkopást (VBE) és a hátkopást (VB3,5) választottuk. A hátkopást 3,5 mm-es sugáron mértük, a főéltől a hátfelületre nyúló kopási sáv szélességeként. A szerszámkopást mindig 5 méter fúrási úthossz megtétele után mértük, mindkét főélen. A fúrási úthossz: átmenő furatok esetén a csigafúróval kifúrt furatok számának és a fúrandó próbatest vastagságának szorzata ($s = z_f \cdot L_p$). A fúróról jó minőségű nagyfelbontású digitális képet készítettünk. A képek feldolgozása CorelDraw programmal történt. A képeket egy referencia mérettel léptékeztük. A kopás értéke a különböző fúrási úthossz utáni képeken található élek referencia vonalhoz képesti távolságának a különbsége.

2.2. A felületi érdesség mérése

Az elkészített furatok átlagos felületi érdességének (R_a) meghatározásához SJ-201 (Mitutoyo)

típusú készüléket használtunk. A felületi érdesség értékek mérése 30 mm hosszúságú próbatesteken furatonként 5 kontúrvonal mentén történt. A mérések során minden mérést azonos paraméter beállítás mellett háromszor megismételtünk és a mérési eredményeket a matematikai statisztikai módszerek felhasználásával dolgoztunk fel. A mért átlagértékeket a fúrási út függvényében ábrázoltuk, majd regresszióanalízissel meghatároztuk a mérési pontokra legjobban illeszkedő közelítő görbe egyenletét, valamint a korrelációs indexet.



3. ábra Szerszámkopás mérés

a, A mérés elrendezése

b, Kopott fúró (N=300)

3. A KÍSÉRLET EREDMÉNYEI

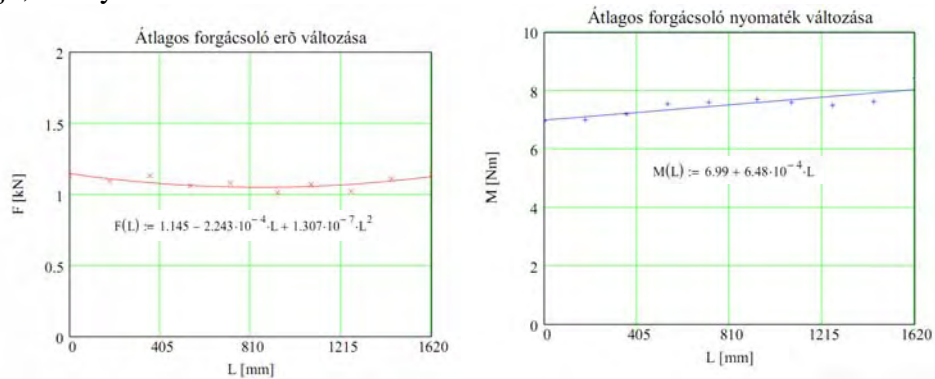
A kísérlet eredményeit az 1. táblázat foglalja össze.

Fúrt hossz L[mm]	Előtoló erő F_f [kN]	Maximális előtoló erő F_{fmax} [mm]	Fúró nyomaték M_c [Nm]	Maximális fúró nyomaték M_{cmax} [Nm]	Hátkopás $VB_{3,5}$ [mm]	Sarokkopás VB_E [mm]	Ra [mm]
0	1,13	2,96	6,97	16,4	0	0	1,855
180	1,09	1,49	7	13,65			1,038
360	1,13	1,61	7,2	19,69			1,904
540	1,06	1,54	7,55	16,2	0,03995	0,14555	1,49
720	1,08	1,53	7,6	19,69			0,923
930	1,01	1,33	7,7	8,8			0,58
1080	1,07	1,56	7,6	19,03	0,078	0,22	1,338
1260	1,02	1,35	7,5	12,59			0,697
1440	1,11	1,44	7,62	15,45			0,522
1620	1,14	1,46	8,43	14,6	0,0985	0,2631	2,534
Korrelációs együttható	0,731		0,849		0,991	0,996	0,651

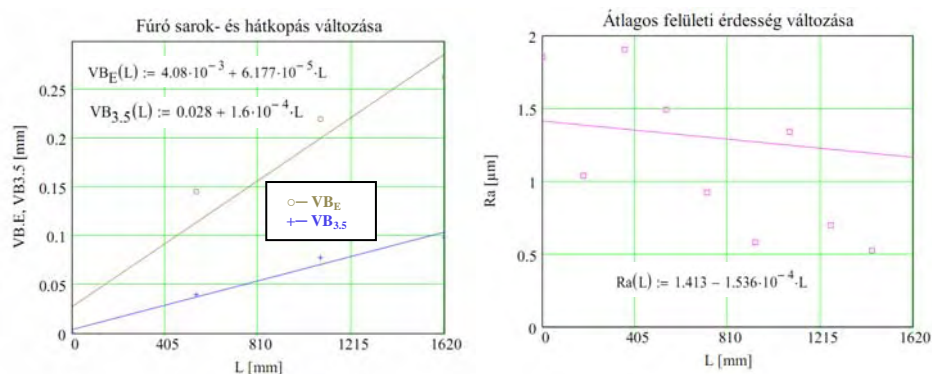
1. Táblázat A kísérlet eredményei

A mérések eredményeiből megállapítható, hogy az előtoló erő változása minimális, a fúrás során a forgácsoló nyomaték kimutathatóan monoton növekszik. A szerszám sarkának és élének kopása jelentősen nő a fúrási úthosszal. A felületi érdesség csökken a fúrás során, ami azzal magyarázható, hogy az életlenebb szerszám már a kemény anyag vasalását is végzi. Ezek alapján a mérési pontokra görbe illeszthető és megállapítható a görbe korrelációs

együtthatója, amelyet az 1. táblázat tartalmaz.



4. ábra Az előtoló erő és fúrási nyomaték mért értékei



5. ábra A szerszámkopás és a felületi érdesség mért értékei

4. KÖVETKEZTETÉSEK/ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk bemutatta, a kopásálló acél (HARDOX 450) minimálkenéssel történő fúrása során végzett kísérletben miként változik az előtolás irányú erő, a forgácsolási nyomaték, a felületi érdesség és a szerszám kopása. Messzemenő következtetések nem vonhatóak le, hiszen ezek kezdeti eredmények, további ellenőrző mérésekre van szükség az adatok pontosítására, melyek folyamatban vannak. A mérések alapján megállapítható, hogy az előtoló erő változása minimális, a fúrás során a forgácsoló nyomaték kimutathatóan monoton növekszik a fúrt hossz függvényében. A szerszám sarkának és élének kopása jelentősen nő a fúrási úthosszal. A felületi érdesség csökken a fúrás során, ami azzal magyarázható, hogy az életlenebb szerszám már a kemény anyag vasalását is végzi.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **KLOCKE, F., LUNG, D.:** Minimalmengenkühschmierung – Systeme, Werkzeuge und Medien. In VDI-Berichte 1532, pp.: 137–154, VDI-Verlag Düsseldorf, 2000
- [2] **WEINERT, K.:** Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung. Springer Verlag 2000
- [3] **DUDÁS, I.:** Gépgyártástechnológia I., A gépgyártástechnológia alapjai, Műszaki Kiadó, 2004. p.583. ISBN 963 16 4030 2
- [4] **DUDÁS, I., VARGA GY., SZIGETI, F., PÉTER, L., SZÁZVAI, A.:** Furatmegmunkálás minimálkenéssel, Műszaki Tudomány az Észak Alföldi Régióban c. konferencia (DAB) , Nyíregyháza, 2006. nov. 16. Műszaki Füzetek, 2.kötet, pp.: 77-92

A THIRD WAVE OF ADVANT EDGE VÉGES ELEMES SZOFTVER HASZNÁLATA FORGÁCSOLÁS SORÁN ÉS NÉHÁNY EREDMÉNY ÉRTÉKELÉSÉNEK AZ ISMERTETÉSE

THE THIRD WAVE OF ADVANT EDGE OF FINITE ELEMENT THE APPLICATION OF SOFTWARE IN THE COURSE OF CHIPPING AND THE PRESENTATION OF THE EXPERIMENTAL RESULTS

MÁNDY Zoltán

Okleveles gépészmérnök (MSc) Mérnök tanár
Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék
zoltan.mandy@uni-miskolc.hu

Kivonat: A Third Wave elsősorban forgácsolási műveletekre specializálódott, 2D- és 3D-ben dolgozó, véges-elemes szimulációk elvégzésére alkalmas szoftver. Az egyszerű kezelői felülete jelentősen megkönnyíti használatának gyors elsajátítását. A program esztergálási műveleten kívül marás és fűrészelés modellezésére is alkalmas. Nagy teljesítményű számítógépre van szükség, ahhoz hogy a számítások minél hamarabb elkészüljenek

Kulcsszavak: Rendszerkövetelmény, bemenő,-kimenő adatok

Abstract: Third Wave is software specialized in chipping of finite element methods which operates in 2D and 3D. Its ease of handling significantly contributes to the quick mastery of its operation. Besides lathe work the program can also be used for the modeling of milling and sawing. To achieve quick calculations a powerful computer is inevitable.

This program variant is able to model it in two dimensions and to animate the chipping processes. To provide approaching results on the process features of the chipping this other opportunity the finite element is right for refining concerned coarsening [1].

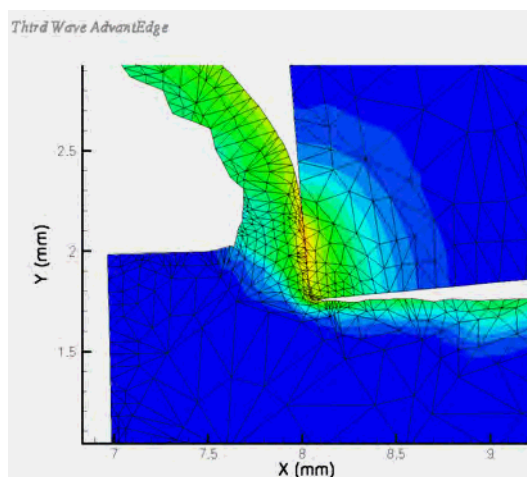
Keywords: Requirements, input,- output datas

1. A SZOFTVER RENDSZERKÖVETELMÉNYEI

A konfiguráció, amelyet ajánlottak a gyártók:

min.2000 MHz processzor

kb.. 600 Mbyte szabad terület nyitott terű HDD-n [1] (láthatjuk a grafikát az 1 ábrán)



1. ábra VEM-háló

2. A THIRD WAVE OF ADVANT EDGE ELŐNYEI

A szoftver a mérnökök hatékony eszköze a tervezésben, gyártásban és optimalizálja a konstrukciós eljárásokat. A forgácsolóerő, egy hőmérséklet, munkadarab lehetségessé teszi azt a különös gépparaméterek és egy eszköz mellett beállítás. a torzítások csökkentése, testi kapcsolat nélkül. Ezzel együtt csökkenti a szükséges aktív tesztek az inputköltségek, és a drága termelési időt.[1]

További hasznok :

- csökkenti a próba tesztek költségeit
- növeli az eszköz élettartamát, és csökkenti a szerszámtörést
- kijavítja az szerszámgeometriát, és a forgács irányítását
- jobban gyorsítja a gépesítést
- hatékonyan növeli a termelékenységet

Advant Edge inputparaméterek

A modellezés érdekében szükségünk van a következő bemenő adatokra

Megmunkálási hossz [mm]	Megmunkálási szélesség [mm]	Anyagminőség	Homlokszög °	Hátszög °
Fogásmélység [mm]	Forgácsolt úthossz [mm]	Előtolás [mm /ford]	Forgácsolási sebesség [m/min]	Hőmérséklet °C
Súrlódási tényező general data	Hűtés-léghűtés 20°	A szerszámlapka anyaga	Szimulációs mód	

1. Táblázat

3. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE A THIRD WAVE OF ADVANT EDGE HASZNÁLATAKOR:

Az értékelést expresszelemzőpanel (gyors elemzés) használatával lehet a megfelelő fültre kattintani a kívánt jellemző értékelésére. A kinagyoló ciklus ugyanazon jellemzőket méri egy vizsgálat folyamatában.

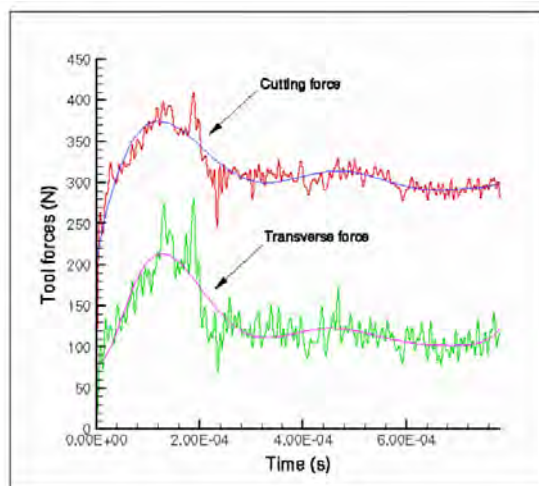
A program ebben az esetben szűrte a nemkívánatos rezgéseket és zavarjeleket. A következő kép mutatja az erő átlagos értékét a főforgácsolóerőre (piros szín) és a másik további járulékos erőkre (zöld színre festi) (ezt láthatjuk a 2. ábrán).

Az erők nagyságának az elosztása látható az idő eloszlásában. A simító ciklus, erőket vág apróra, ami különbséget mutat a jellemzőik között, numerikus különbségek, amik csupán következnek a vágás különböző mélységéből. Hirtelen erőnél növekednek a jelleggörbék, azután egy bizonyos határértékbe kezdenek hajlani, ezt figyelhetjük meg.[2] .

A vizsgálat következő része az a megmunkálás a pozíció modellezését le töredező és a felmerülő erők egy az animáción levő színskálával, történő vizsgálata egy grafikonon. A vázolt erők funkciójellemzői a korábbi görbék miatt különböznek, mert nem szűrtük a zavaró tényezőket és az erő hatásait miközben nem volt nagy jelentőségük ebben az esetben.

A kimért értékekből a következő eredményeket végül is visszatükrözik a szűrt értékekből. Nem a jellemzőkben van jelentős különbség hanem a kimért érték, bár ez a vágás mélysége okozta azt egy rendelkezésben, amit hasonlóan kifejeztek egy számban, különböznek. Amikor

diák voltam a Miskolci Egyetemen végeztem ilyen jellegű kísérleteket.



2. ábra Az erők eloszlása a szerszámra ható erők és az idő függvényében

:

Hőmérséklet: [°C]	Hőáram: [W/mm ³]	Képlékeny alakváltozás: Dimenzió nélküli	– Képlékeny alakváltozási sebesség: [1/s]	– Mises Feszültség: [Mpa]
Nyomás: [Mpa]	Max Nyírási Feszültség: [Mpa]	– Sigma XX: [Mpa]	SigmaYY: [Mpa]	Max hőfeszültség: [Mpa]
Min. Hőfeszültség: [Mpa]	Anyagáramlási sebesség: [m/min]	Sebesség X: [m/min]	Sebesség Y: [m/min]	Sebesség Z: [m/min]

2 Táblázat Az Advant Edge kimenő paraméterei

A kísérlet célja az, hogy milyen más eredmények szülessenek, ha más és más értékekkel kísérleteket, futtatásokat végzek különböző bemenő paraméterekkel például más sebességgel, hosszra más munkadarab illetve szerszám anyagra vonatkozóan. Feltételek: 20°, általános karbid-anyagminőség. A 2 darab futtatás bemenő adatai láthatóak a 3. táblázatban:

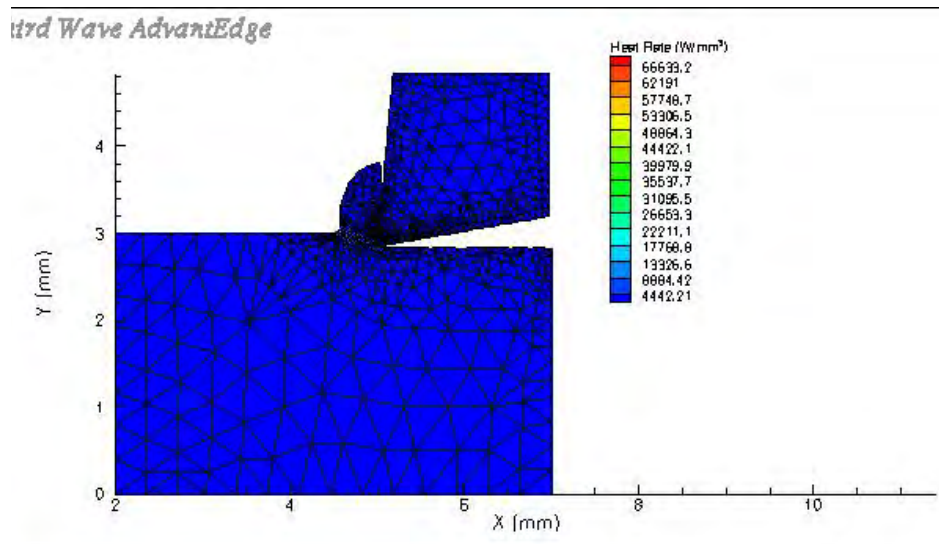
A következőkben pedig néhány kísérleti futtatási adatot fogok szolgáltatni, azon a megfontolásból, hogy megmutassam azt milyen feladat megoldására lehet használni hatékonyan a szoftvert. Az adatok szolgáltatása a következő formában fog megtörténni: Közlöm az összes bemenő adatot és ezek összehasonlító eredményét ennek függvényében.

Ahogy azt mi láthatjuk a hőáram 66633,2 W/mm³ érték adódik a legkritikusabb pontban., míg a legkedvezőbb helyzetű pontban már csak 4442 W/mm³ adódik. Ugyanezt a vizsgálatot megtehetjük a velocity magnitude esetében is : a kritikus pont a 2917 m/min míg a legkedvezőbb helyzetű pont 194 m/min körül adódik. A nyomás elemzésénél adódik az, hogy 19168,6 Mpa adódik a legkritikusabb értéknél és az optimális értéke olyan 1542 Mpa körül kezd kialakulni (Ezek a 3-5. ábrán látszanak).

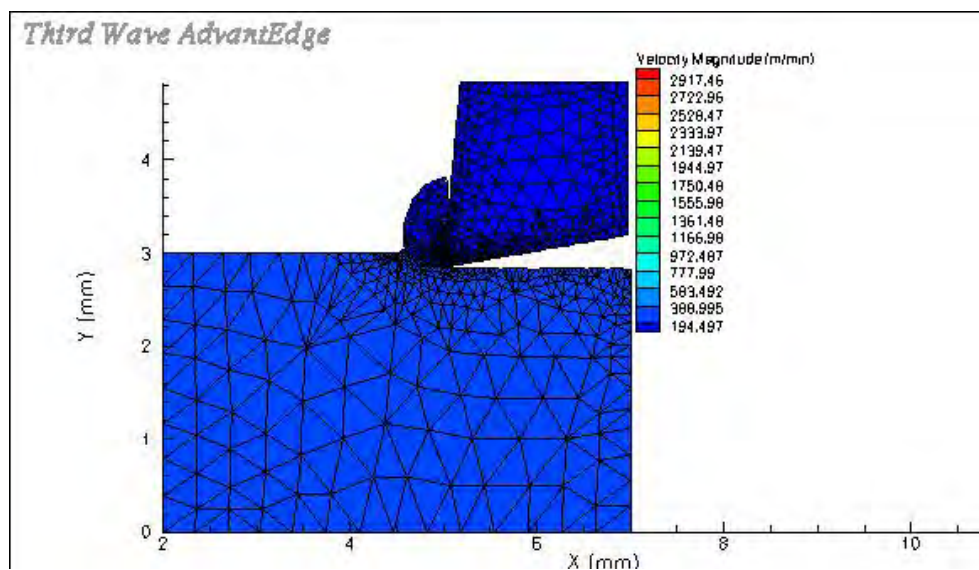
	Első futtatás	Második futtatás
Fogásmélység: 1 mm	1 mm	1 mm
Vágási Úthossz:	2 mm	3 mm
Előtolás	0,15 mm	0,15 mm
Forgácsolási sebesség	300 m/min	280 m/min
Mód	General	Rapid
Szerszám Paraméterek:		
Forgácsoló ék rádiusz	0,02 mm	0,02 mm
Hátszög	5°	6°
Homlokszög	10°	8°
Szerszám anyaga	Carbide-General	Carbide – P
Munkadarab		
Munkadarab magasság	3 mm	1 mm
Munkadarab szélesség	5 mm	3 mm
Munkadarab anyaga	Al 6061-T6	Al 6061-T6 (Standard)

3.Táblázat A bemenő adatok

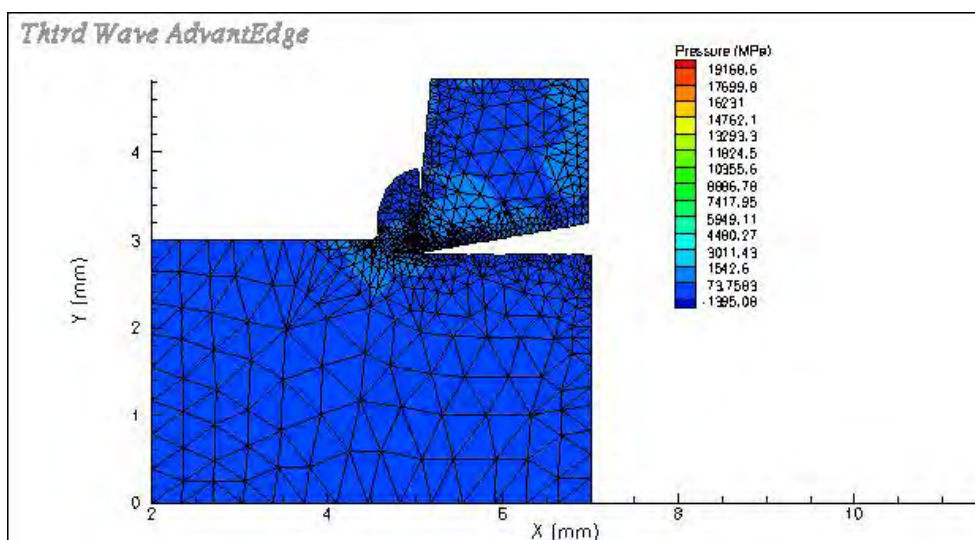
A kísérleti eredmények



3. ábra

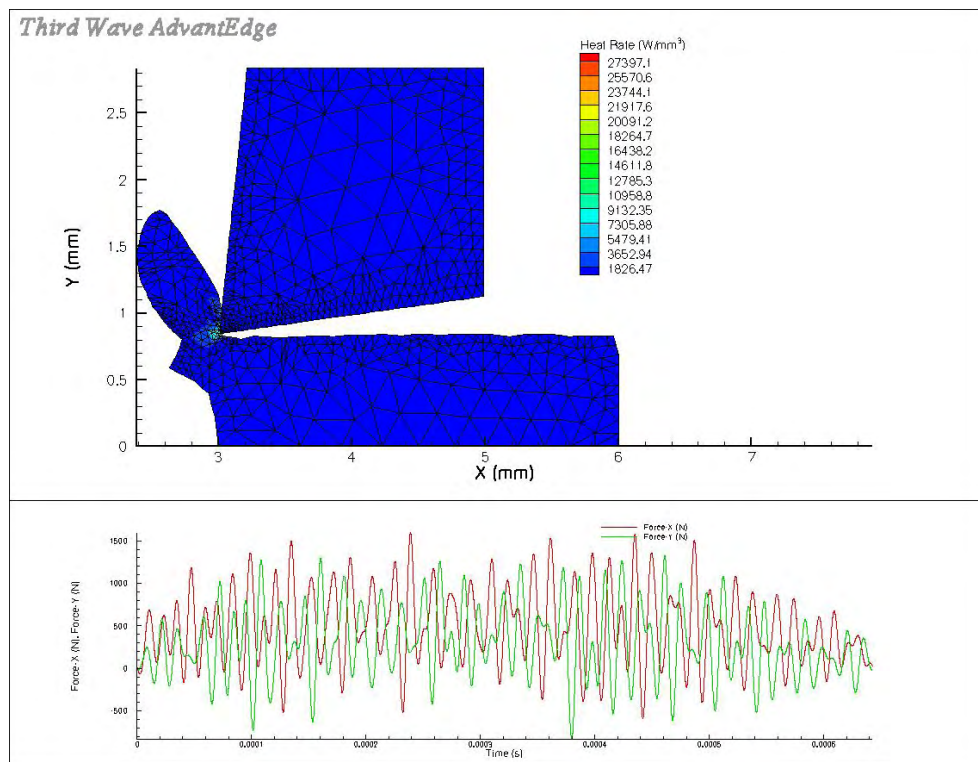


4. ábra

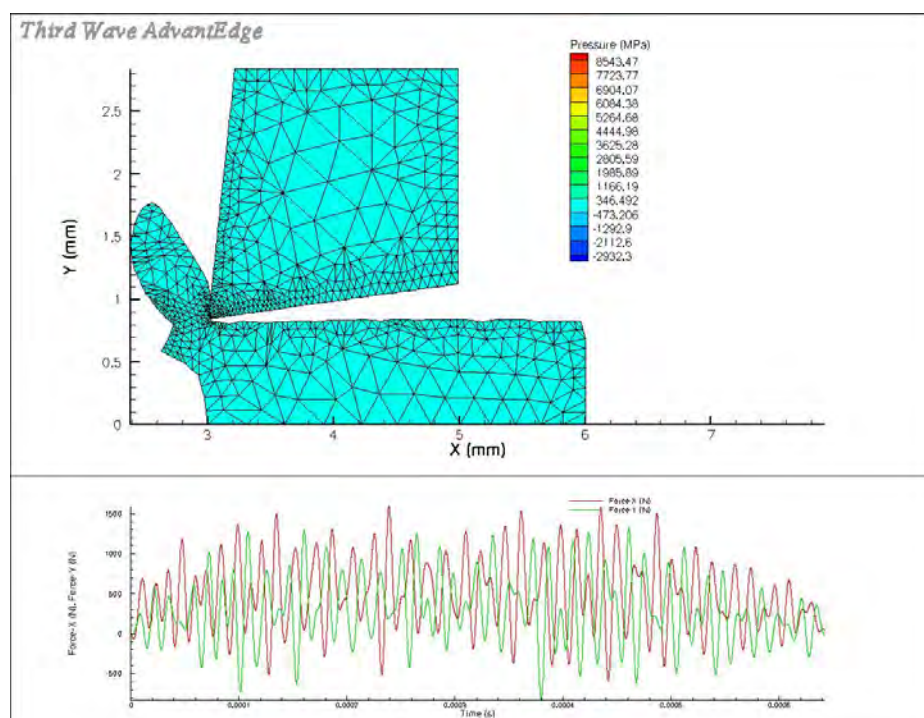


5. ábra

A második szoftver futtatási eredményeket összevetve az új adatokkal a következő eredmények jönnek. Eredményeképpen annak a ténynek, hogy változás történt a forgácsolási úthosszon, a forgácsolási sebességben, a futtatás módja is gyorsabbá vált. A szerszám geometriája is változott és ez sok eredményben változást hozott például a homlokszög és a hátszög is változott. A szerszám és a munkadarab anyagában is változás történt. Csak a szemléltetés kedvéért: a hőáram változásánál a kritikus érték 27397 W/mm^3 míg optimális értéke $3652,91 \text{ W/mm}^3$ körül kezd kialakulni (6. ábra). A nyomás változásának analizésében látszik, hogy a maximális érték 8543 Mpa körül alakul, míg az optimális tartománya 347 Mpa –tól egészen a negatív értékekig adódik (7. ábra). A 6. és a 7. ábrán már az erők is látszanak, melyek a szerszámmra hatnak.



6. ábra



7. ábra

HIVATKOZÁSOK

- [1] Third Wave Systems Advant Edge User's manual version 4.1 (2002.) 7301 Ohms Lane-Suite 580, Minneapolis, MN 55439
- [2] Szabó Gergely: Edzett acélok befejező megmunkálása (2007), Miskolci Egyetem (Diplomamunka)

A TERMÍKUS SZÓRÓ-ELJÁRÁSOKNÁL ALKALMAZOTT LÁNGTÍPUSOK ÉS ENERGIAÁRAMOK JELLEMZÉSE

THE DESCRIPTION OF FLAME TYPES AND ENERGY CURRENTS APPLIED AT THE THERMAL SPRAYING-METHODS

Dr. FAZEKAS Lajos

főiskolai docens

Debreceni Egyetem Műszaki Kar Gépészmérnöki Tanszék

fazekas@mk.unideb.hu

Kivonat: A lángba bevezetett részecskék az alapfémekkel való érintkezés előtt intenzíven felhevülnek és nagymértékben felgyorsulnak. A felszóró bevonatok mikroszerkezete és a bevonatok tulajdonságai nagymértékben függenek azokról a jelenségektől, amelyek a részecskék repülése közben történnek. A láng-tulajdonságoknak valamint a részecskék repülés közbeni hőmérsékletének, sebességének és elgőzölgésének gyakorlati ismerete lehetővé teszi a folyamat jobb megértését, korlátozza az üzemi feltételek optimalizációs idejét és végül lehetővé teszi a szórási folyamat automatizálását.

Kulcsszavak: termikus szórás, láng-tulajdonságok, üzemi feltételek.

Abstract: The particles led in the flame heat up intensively and speed up greatly before they get in contact with the basic metal. The microstructure of the sprayed platings and the characteristics of the platings greatly depend on the incidents happening during the flight of the particles. With the practical knowledge of the flame-qualities and the temperature, speed and evaporation of the particles during their flight makes it possible to give a better understanding of the process, limits the optimization time of conditions and it makes the automatization of the spraying process possible.

Keywords: thermal spraying, flame, operating conditions

1. A LÁNGOK JELLEGZETESSÉGEI

1.1. Hőmérséklet

A láng teljes entalpiájának meghatározása céljából azt a kalorimetrikus módszert lehet használni ami a pisztolyba jutó energia-bevitel valamint a hűtővíz által okozott energia-szóródás meghatározásán alapul. A statikai entalpia (H_s) ahhoz szükséges, hogy meghatározzuk a láng hőmérsékletét:

$$H_s = H_t - \frac{1}{2}u^2, \quad (1)$$

ahol:

H_t – a láng összes entalpiája,

u – a láng sebessége.

Ha ismert a pisztoly-fúvóka átmérője (d) és a munkagáz tömegáramlási sebessége (q), akkor a láng átlagos sebessége:

$$u = \frac{4q}{\rho_g \pi d^2} \quad (2)$$

ahol:

ρ_g – a gázláng sűrűsége.

A kalorimetrikus módszer, csupán a láng átlagos sebességének és átlagos hőmérsékletének meghatározását teszi lehetővé. A tényleges lánghőmérséklet és sebesség az axiális(tengely) és a radiális(sugár) irányban változik.

1.2. Sebesség

A lángok sebességének mérésére a lézeres sebességmérést (LV) alkalmazzák. Olyan módszer, amely használata során feltételezik, hogy a finom és könnyű részecskéknek ugyanolyan sebességük van, mint amilyen a láng részecskéknek.

1.3. Vegyi összetétel

A gázminták vegyi összetételét a vegyelemzés bármely módszerével (pl. tömegspektrográfia) vizsgálni lehet. Úgy tűnik, hogy az a mintavételi módszer, amely a pisztolyból különböző tengelyirányokban vett gázminták elemzésén alapszik, a legalkalmasabb.

2. A LÁNG ÉS A SZÓRT RÉSZECSKÉK KÖZÖTTI IMPULZUSÁTVITEL

A mozgó gázba injektált tömör részecskék felgyorsulását a következő erők hozzák létre, áramlási ellenállás (közegellenállás) ereje, a nyomás-gradiens miatt létrejövő erő, a hozzáadott tömeg miatt létrejövő erő, és a külső potenciális erők (gravitációs, villamos stb.)

A legtöbb termikus szórás esetén csak az áramlási ellenállást veszik a számításnál figyelembe, így módon a részecskemozgás egyenlete a következő:

$$\frac{1}{6} \rho_p \pi d_p^3 \frac{dv}{dt} = \frac{1}{8} C_D \pi d_p^2 \rho_g (u - v)^2 \quad (3)$$

ahol:

u – a gázsebesség,

v – a részecskesebesség,

d_p – a részecske átmérő,

ρ_p és ρ_g – a részecske, ill. a gáz sűrűsége,

C_D – közegellenállási tényező.

A közegellenállás tényezője (C_D) függ a láng sebességéhez (amelyet az Re szám ír le) viszonyított részecske sebességtől. Repülés közben a részecske T_p hőmérséklete egészen a forráspontig is emelkedhet és ezután a T_g láng hőmérséklet sokkal magasabb is lehet. Tehát a részecske körül határréteg van és indokolt annak feltételezése, hogy a gáz tulajdonságok a határrétegben átlagosak.

A lángba injektált összes részecske által létrejövő impulzus (nyomaték) összege egyenlő a láng-nyomaték veszteségével. A részecskék lángba történő injektálása befolyásolja a szemcsék röppályáját. A porszemcsék nem azonos méretűek, és nagyobb méretű szemcsék csak kisebb sebességekre gyorsulnak fel, mint a kisméretű szemcsék. Ez az oka annak, hogy az injektálás sebessége is bizonyos eloszlást mutat.

2.1. A részecske sebességmérés módszerei

A részecskesebesség meghatározásának jól ismert és megbízható módszere a részecskeáramlásnak forgó tükörrel való fényképezése. Napjainkban a részecskesebességek legtöbb mérésénél a lézer-sebességmérőt használják.

Két népszerű rendszer van:

- lézer-Doppler-sebességmérés (LDV)
- lézer-két-fókuszos módszer (L2F)

3. A LÁNG ÉS A SZÓRT RÉSZESKÉK KÖZÖTTI HŐÁTADÁS

Az a cél, hogy az alapfémhez ütköző összes részecske megolvadjon (és a sebessége lehetőleg a maximális legyen). Ilyen feltételek teszik lehetővé a legtömörebb és homogénabb bevonat felvitelét, amelynek eredményeképpen a legjobb bevonat-tulajdonságokat érjük el. Ez alól fontos kivételt képez a hőszigetelési hatás és a bevonatok hő-sokkal szembeni ellenállása, mert ezeknél jobb, ha a bevonatoknál bizonyos mérvű szabályozott porozitás van. Ha a részecskék kisméretűek, vagy ha a hőt jól vezetik, akkor ezt a célt könnyebb elérni, mint egyébként. Nagyméretű részecskék és/vagy gyenge hővezetőképességű részecskék megolvasztásához szükségesnek látszik olyan eljárási feltételek kiválasztása, amelyek a részecskék felületéről az intenzív elgőzölögést nem okoznak.

4. A RÉSZESKÉKE HŐMÉRSÉKLET MÉRÉSÉNEK MÓDSZEREI

A legegyszerűbb módszer, amelyet a részecskék repülés közbeni hőmérsékletének meghatározásához ajánlanak, a vízbe való szórás. Ha a részecskék a lángban megolvadt állapotban voltak, akkor a vízben gömb-alakúak lesznek. Összeszámolható a gömb alakú részecskék százalékos aránya annak megismerése céljából, hogy ténylegesen milyen hatékony a szórási paraméterek optimalizálása. E területen javasolt az optikai módszerrel történő kutatás.

5. A BEVONAT FELÉPÍTÉSE

A bevonat azokból az egyedi részecskékből épül fel, amelyek az alapfémhez ütköznek. A részecskék az alapfémhez való ütközés pillanatában teljesen vagy részben megolvadt állapotban vagy szilárd állapotban lehetnek. A szilárd részecskék visszapattannak vagy gyengén kötődnek a bevonat egy részéhez, csökkentve annak szívósságát. Ez az oka annak, hogy a szórási paraméterek gondos optimalizálása az ilyen részecskék kiküszöböléséhez kell, hogy vezessen. Kezdetben a részecskék az alapfémhez ütköznek. Az ebben a szakaszban végbemenő jelenségek határozzák meg a bevonatnak az alapfémhez való tapadását. A végleges bevonatvastagságot az alapfém feletti sokszori áthaladással érik el. Ezután a bevonat szobahőmérsékletre hűl le, ez hőfeszültségek kialakulásához és esetleg repedésképződéshez vezethet, néha pedig akár a bevonatnak az alapfémről való leválásához is.

Az alapfémmel való első érintkezés pillanatától kezdve a részecske deformálódni kezd. Kezdetben henger alakja van. A gömbalakból henger alakúvá való deformáció jön létre. Az ütközés a lemezkén belül és az alapfémbe lökeshullámot hoz létre. Később, a henger sugárirányban kezd szétterjedni, palacsinta formát vesz fel és ezzel egyidejűleg végbemegy a szilárdulási folyamat.

6. A RÉSZECSCKE HŐMÉRSÉKLETE AZ ÜTKÖZÉSKOR

A V. V. Kudinov által (1977) [1] javasolt megoldás a következő egyszerűsítéseken alapul:

- az alapfém egy irányban végtelen test, amelynek ütközés előtti hőmérséklete T_0 ,
- a részecske az ütközés előtt folyékony és egyforma T_m olvadáspontja van,
- a részecske és az alapfém közötti érintkezés ideális,
- a hő egy irányban terjed.

Miután a folyékony részecske deformációja megtörténik, elkezdődik a szilárdulási folyamat. A legjellegzetesebb feltételek között, a szilárdulási folyamat a részecske és az alapfém (vagy az előzőleg felszórt bevonat) közötti határfelületen kezdődik, ez a határfelület képezi a folyékony anyag számára a hőelnyelő csapdát. A gócképződés heterogén jellegű és a szilárdulási front gyorsan halad a lemez felső részének irányába. Ezen a területen haladást az utóbbi időben gyors pirométerek alkalmazásával érték el a lemezfelület ütközés utáni hőmérsékletének megfigyelésére.

7. AZ ADHÉZIÓ MECHANIZMUSA

A felérdesített felületen több lemez, bizonyos mértékben, azzal az erővel tapad az alapfémhez, amely a felületi egyenetlenségeket körbefogó folyékony anyag térfogatcsökkenéséből adódik. A lemezek nem érintkeznek az alapfémrel a teljes alsó felületükön. Még a palacsinta alakú lemezek sem érintkeznek teljes mértékben az alapfémrel. Az érintkezési területeket néha „hegesztési pontoknak” vagy „aktív zónának” nevezik és ezek a teljes lemezterület 20–30 %-ának felelnek meg. A bevonatok adhéziója (tapadása) javul, ha az érintkezési terület nagyobbá válik. Ezek a területek határosak: oxidokkal, levegővel teli pórusokkal vagy a munkagázzal teli pórusokkal. Az érintkezési terület növelése az oxidtartalom csökkenése mellett úgy érhető el, hogy a felszóró porban dezoxidáló elemeket használnak. Egy ilyen elem az Al.

A lemezek és az alapfém közötti érintkezési felületeken belül az adhézió a következő mechanizmusokból adódhat:

- fizikai kölcsönhatás,
- metallurgiai kölcsönhatás,
- más kölcsönhatások (mint pl. epitaxia).

7.1. Fizikai kölcsönhatás

A lemez és az alapfém atomjai közötti fizikai kölcsönhatás a Van der Waals-féle erők működéséből adódik és csak akkor alakul ki, ha szoros és konstans az érintkezés. A felületeknek meg kell közelíteniük egymást, hogy az atomok vonzási mezőit elérjék, azaz 0,5 nm-en belül kell lenniük. Az érintkező felületek közötti fizikai kölcsönhatás kialakulásához nélkülözhetetlen előfeltételek a következők:

- a felületek tiszták,
- a felületek nagyobb energiai állapotban vannak (pl. képlékeny alakváltozásnál),
- az érintkezés szoros (ez könnyebben létrejön, ha a lemez folyékony).

7.2. Metallurgiai kölcsönhatás

A metallurgiai kölcsönhatásnak két lehetséges mechanizmusa van: a diffúzió valamint a lemez és az alapfém közötti kémiai reakció. A diffúzió főleg a gyorsan dermedő lemezben nagy koncentrációban jelenlevő vakanciák (kristályrács-hibahelyek) révén jön létre. Mivel a

diffúzió termikusan aktivált folyamat, a magas érintkezési hőmérséklet növeli ennek a jelenségnek a valószínűségét.

8. A BEVONAT NÖVEKEDÉSE

A termikusan szórt bevonatok tipikus szelvénye több, egymásra felrakott lemezt mutat. A szórópisztoly az alapfém felett bizonyos lineáris sebességgel mozog, ugyanezzel a sebességgel mozog a szórási folt az alapfémen. A lemezek száma egy rétegben, azaz a pisztoly egy áthaladása alatt felrakott anyag mennyisége a lineáris sebességtől függ.

A szórási technológia megtervezése a lineáris sebesség meghatározását is magában foglalja. A nagy lineáris sebesség kisebb rétegvastagságot eredményez, de másrésztől a pisztoly gyorsabban tér vissza ugyanarra a szórási foltra (szórási pontra), ez pedig csökkenti a környezettel való érintkezést és ennek eredményeképpen kisebb mértékű lesz a szórt munkadarab hőmérsékletváltozása. Hasonló módon, a kis lineáris sebesség és a nagy rétegvastagság a réteg alsó és felső része közötti hőmérsékletkülönbség kialakulásához, ily módon (különösen a nagy hődilatációs tényezőjű anyagoknál, mint pl. a cirkónium) maradó feszültségek létrejöttéhez vezet.

Az alapfémre felrakott por tömege térben eloszlik és ez az eloszlás megközelíti a Gauss-féle eloszlást. Ez az eloszlás a szórási távolság növekedésével jobban szétterjed. A pisztoly ezt követő áthaladásainál az egyik áthaladásnak nem szabad a másiktól nagy távolságban lennie, a rétegvastagság ingadozásának elkerülése céljából.

9. HŐFESZÜLTSÉGEK KIALAKULÁSA

9.1. A gyors lehűtés okozta feszültségek (edzési feszültségek)

Az alapfémhez (vagy az előzőleg felvitt bevonathoz) ütköző részecske deformálódik, megdermed és az aktuális (tényleges) hőmérsékletre hirtelen hűl le. Ezek a feszültségek a lemezen vannak és mindig húzófeszültségek. A σ_q húzófeszültség értékét a következő egyenlettel lehet meghatározni:

$$\sigma_q = \text{TEC}_1(T_m - T_s)E_1 \quad (4)$$

ahol:

TEC_1 – a hőterjedési együttható,

E_1 – a rugalmassági modulus,

T_m – a lemez anyagának olvadáspontja,

T_s – az alapfém (vagy az előzőleg felszórt bevont) hőmérséklete,

az 1 index – a lamellára (lemezre) vonatkozik.

Egy alumínium-oxid lemeznél a gyors lehűtés okozta feszültségek értéke 100 MPa, amikor a lemez az olvadásponttól 100 K-re hűl le. A gyors lehűtés okozta feszültségeket a felszórt réteg szórás közbeni helyszíni görbületváltozásának mérésével lehet meghatározni.

9.2. Lehűlési feszültségek

Lehűlési feszültségek akkor alakulnak ki, amikor a bevonat és az alapfém a rétegfelrakási folyamat után lehűl és azért jönnek létre, mert az alapfém valamint a bevonat hőterjedési együtthatója (TEC) helytelenül illeszkedik.

10. A BEVONATOK MIKROSZÖVETSZERKEZETE

10.1. Gyors szilárdulás és gyors lehűlés

A gyors szilárdulás és a gyors lehűlés olyan jelenségek, amelyek a részecskének az alapfémhez (vagy az előzőleg felvitt bevonathoz) való ütközése után következnek be.

10.2. A felszórt anyag összetételének módosulása

Szórás közben a részecskék a lángban megolvadnak és hőmérsékletük magasabb lehet, mint a forráspontjuk. A több fázisból álló anyagokban a legalacsonyabb olvadáspontú és elgőzölgési pontú fázis gyorsabban párolog el, mint a többi. Ennek az eredménye, hogy a felszórt bevonatban a vegyi összetétel megváltozik. Hasonló módosulás jön létre a lángban végbemenő oxid-redukcióból is. A megfelelő porelőkészítés és a szórás utáni hőkezelés néha lehetővé teszi ennek a problémának a leküzdését.

10.3. A bevonat inhomogenitása

A bevonatok nem homogének, mert a szórásra használt por szemcséi különböző méretűek. Ezen túlmenően, a porrészecskéknek sem a morfológiája, sem a vegyi, sem pedig a fázisösszetétele nem azonos.

11. ÖSSZEFOGLALÁS

A termikusan szórt bevonatokban sok hiba a folyamat paraméterek nem optimális kiválasztása miatt, míg mások a technológiai sajátosságok miatt jönnek létre.

A bevonatok mikroszövet szerkezete meghatározza a bevonatok tulajdonságait. Tehát a technológiai tervezőmérnöknek a folyamatparaméterek optimalizálásakor tekintettel kell lennie arra, hogy a bevonattól milyen tulajdonságokat várnak el és a bevonat mikroszövet szerkezete milyen kapcsolatban van ezzel a tulajdonsággal.

12. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **Kudinov, V.V.**, Plasma Coatings, Izdatelstvo Nauka, Moscow, USSR (in Russian), 1977.
- [2] **Molnár András**, Termikus szórás, Miskolci Egyetem, Oktatási segédlet, 2002
- [3] **Molnár András**, A termikus szórás eljárásai, Egyetemi előadás Miskolci Egyetem Gépészmérnöki Kar, 2003.
- [4] **J. McKelliget, J. Szekely, J., M. Vardelle, and P. Fauchais**, Temperature and velocity fields in a gas stream exiting a plasma torch, Plasma Chemistry and Plasma Proceeding, 2., 1982, pp. 317-332.
- [5] **Molnár András**, Szóró-felrakó technológiák, Oktatási segédlet, NME, 1979.
- [6] **DIN EN 657: 2005-05** Termisches Spritzen - Begriffe, Einteilung; Deutsche Fassung EN 657:2005

FIZIKAI ANALÍZIS A PHENIX ELEKTROMÁGNESES KALORIMÉTERÉVEL

PHYSICS ANALYSIS WITH THE PHENIX ELECTROMAGNETIC CALORIMETER

TARJÁN Péter

főiskolai adjunktus
Nyíregyházi Főiskola
ptarjan@nyf.hu

Kivonat: A RHIC gyorsítónál működő PHENIX detektor célja az Au+Au ütközések vizsgálata nukleonpáronkénti 200 GeV energián. A PHENIX a müonokat a detektor nyalábirány szerinti két végén található müon-spektrométerekkel detektálja, míg a többi részecskét – hadronokat, elektronokat és fotonokat – a két kárból álló központi spektrométer méri. A karok $2 \cdot 90^\circ$ -os azimuttszög-tartományt és 0,7 egységnyi rapiditástartományt fognak át. Ezen központi spektrométer végső detektora egy elektromágneses kaloriméter, amely a relativisztikus nehézion-ütközésekben keletkezett részecskék energiájának és érkezési idejének pontos mérését teszi lehetővé. A kaloriméter – a nyomkövető detektorokkal közösen – lehetőséget ad az elektronok és hadronok azonosítására és a nagyenergiás fotonokra és elektronokra triggerelésre is. Ezen cikkben ismertetem az elektromágneses kaloriméter működését, monitorozását, kalibrációját és az analízisek néhány módszerét a nehézion-ütközések nagy részecskesűrűségű körülményei között. Néhány, semleges pionokra vonatkozó eredmény is bemutatásra kerül.

Kulcsszavak: PHENIX, kaloriméter, elektromágneses, kalibráció, pion

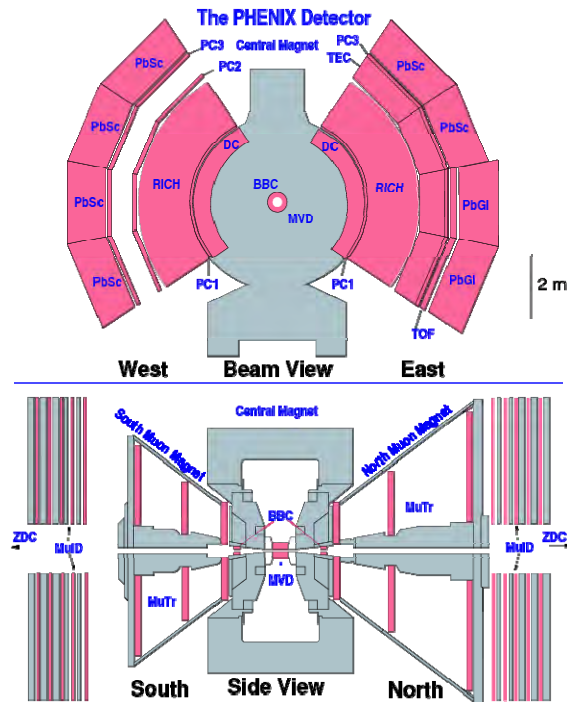
Abstract: The PHENIX detector at RHIC has been designed to study central Au+Au collisions at 200 GeV per nucleon pair. PHENIX measures muons in two muon spectrometers located forward and backward of mid-rapidity, and measures hadrons, electrons, and photons in two central spectrometer arms (each of which covers $2 \cdot 90^\circ$ in azimuth) and 0.7 unit of rapidity. The final component of each central arm spectrometer is an electromagnetic calorimeter, which precisely measures the energy and the time of arrival of particles created in relativistic heavy ion collisions. The calorimeter also provides electron and hadron identification capabilities by energy-momentum matching with the tracking measurement and by time of flight measurement. It is also used for triggering on high energy photons and electrons. The operation, monitoring, calibration and the analysis methods used to deal with the high multiplicity environment are described. Results on neutral pion production will be presented.

Keywords: PHENIX, calorimeter, electromagnetic, calibration, pion

1. BEVEZETÉS

A Brookhaven National Laboratory (USA) Relativisztikus Nehézion-Ütköztetőjénél működő PHENIX kísérlet (1. ábra) célja, hogy nehézion-ütközésekben ritka folyamatokat keressen, különös tekintettel a fotonok és leptonok keletkezésére. A detektort számos, különböző működési elvű alrendszer alkotja. Ezen alrendszerek együttműködésével lehetővé válik, hogy az ütközésekben keletkezett sűrű maganyag tulajdonságait megmérjük.

Az elektromágneses kaloriméter (EMCal, [1]) a PHENIX középső spektrométer-karjának utolsó eleme.



1. ábra A PHENIX detektor 2003-as konfigurációja

2. HARDVER

Az EMCal két különböző detektor-alrendszerből áll, és pedig a középső spektrométer-kar akceptanciájának negyedét kitevő, 9216 toronyból álló ólomüveg (PbGl) kaloriméterből és a maradék háromnegyedét lefedő, 15552 toronyból álló ólom-szcintillátor (PbSc) kaloriméterből.

A kaloriméter radiálisan kb. 5 m távolságban helyezkedik el a nyalábcstól, hogy a centrális („frontális”) nehézion-ütközésekben keletkezett nagy számú részecske ellenére is alacsony maradjon a detektor foglaltsága.

2. HARDVER

Az EMCal két különböző detektor-alrendszerből áll, és pedig a középső spektrométer-kar akceptanciájának negyedét kitevő, 9216 toronyból álló ólomüveg (PbGl) kaloriméterből és a maradék háromnegyedét lefedő, 15552 toronyból álló ólom-szcintillátor (PbSc) kaloriméterből.

A kaloriméter radiálisan kb. 5 m távolságban helyezkedik el a nyalábcstól, hogy a centrális („frontális”) nehézion-ütközésekben keletkezett nagy számú részecske ellenére is alacsony maradjon a detektor foglaltsága.

Az EMCal pszeudo-rapidityban a $-0,35$ és $0,35$ közötti tartományt, azimutszögben $2 \cdot 90^\circ$ -ot fed le.

A kaloriméter a beérkező részecskék helyét, energiát és repülési idejét méri. Az energiamérés pontossága igen jó fotonokra és elektronokra, hadronokra viszont nem – a legtöbb, a RHIC-nél szokásos tartományba eső energiájú hadron annak csak egy részét adja le az EMCal-ban.

A kaloriméter mindkét részéhez tartozik egy optikai elven működő referenciarendszer, amelyek elve nagyon hasonló, de a megvalósításuk különbözik. A referenciarendszer online minőségellenőrzési és kalibrációs lehetőségeket biztosít.

1.1. Ólom-szcintillátor (PbSc) kaloriméter

A kaloriméter ólom-szcintillátor része egy úgynevezett mintavevő kaloriméter. Hat szektorból áll, ezek egyenként $4\text{ m} \times 2\text{ m}$ felületűek. A szektorok 72×36 toronyból épülnek fel, amelyek szendvics szerkezetűek. A 66 szendvicsréteget egyenként 1,5 mm Pb abszorbens plusz 4 mm szcintillátor anyag (1.5% PTP/0.01% POPOP) alkotja. A beérkező töltött részecskék az ólom abszorbensben elektromágneses záporokat hoznak létre, amelyek a szcintillátor anyagában fényfelvillanásokat keltenek.

Az egyes tornyokon hosszanti irányban 36 furat található 6×6 -os elrendezésben, amelyek minden rétegen áthatolnak. A furatokon 18 hullámhossz-konvertáló optikai szál van átfűzve, amelyek a szcintillátor fényét a tornyok hátoldalán elhelyezett fotoelektron-sokszorozókhoz (FES) juttatják el. Az optikai szálak száma azért fele annyi, mint a furatoké, mert egy szál mindkét vége – két különböző furaton át – a torony hátlapjára van kivezetve. Ez az elrendezés biztosítja azt, hogy a szcintillátorban keletkezett fény indulási irányától függetlenül mindig megérkezik a fotoelektron-sokszorozóba; továbbá csökkenti a detektorválasz longitudinális irányú egyenetlenségét.

1.2. Ólomüveg (PbGl) kaloriméter

A kaloriméter ólomüveg részének működése a Cserenkov-effektuson alapul. A PbGl két szektorból áll, amelyek mérete megegyezik a PbSc szektorokéval. Az ólomüveg kaloriméter azonban finomabban szegmentált: a szektorok 96×48 toronyból állnak, amelyek ennek megfelelően kisebbek, mint a PbSc tornyai.

Azok a töltött részecskék, amelyek a közegbeli fénysebességnél gyorsabban haladnak, Cserenkov-fényt sugároznak. (Az ólomüveg törésmutatója $n = 1,647$, azaz a közegbeli fénysebesség kb. $1,82 \cdot 10^8\text{ m/s}$.) Ezek a fotonok a (homogén) ólomüvegen keresztül, hullámhosszfüggő csillapítással terjednek a tornyok hátlapján elhelyezett fotoelektron-sokszorozókig.

3. MONITOROZÁS ÉS KALIBRÁCIÓ

3.1. Monitorozás

Az optikai monitorozó rendszer feladata, hogy a fotoelektron-sokszorozók erősítésének és a tornyok időinformációjának változásait kövesse. A fizikai események között egy optikai monitorozó rendszer fényt bocsát a kaloriméterbe és ez a fény a fotoelektron-sokszorozókba jut. Ezek jele digitalizálódik és az adatok automatikusan elmentődnek a rendes adatfolyamba, ahol könnyen elérhetőek online minőség-ellenőrzés és offline kalibráció céljából. Az optikai monitorozórendszerrel történő erősítéskövetés biztosítja az EMCal erősítéseinek hosszú távú stabilitását (1%-on belül). Az energiaskála minél pontosabb ismeretére már csak azért is szükség van, mert azoknál a meredek exponenciális vagy hatványfüggvény alakú részecskespektrumoknál, amilyenekről egy ilyen kísérletnél szó van, még egy 1%-os bizonytalanság is okozhat nagyságrendileg 10%-s szisztematikus hibákat.

3.2. Kalibráció

Az EMCal energia- és időválaszát kalibrálni kell, továbbá azonosítani kell a „halott” és a „forró” tornyokat, mielőtt a kalorimétert fizikai analízisre használhatnánk. Ehhez számos módszert használunk, amelyek egymást kiegészítik és ellenőrzik. A kalibrációink forrásai:

- az építés idejéből származó tesztnyalábos vizsgálatok
- a WA98 kísérlettől örökölt kalibrációk (a PbGl esetében; eredetileg a PbGl a WA98 kísérlet része volt)
- a referenciarendszer
- fizikai adatok.

Itt néhány fizikai adatokon alapuló kalibrációt ismertetünk.

1) Halott és forró tornyok: A halott és forró tornyok keresése több különböző módon történhet, de a lényeg többé-kevésbé ugyanaz. A recept a következő: vegyünk egy megfelelően nagy adatmintát; számoljuk meg, hogy a tornyok egyenként hányszor jeleztek részecske-találást; ábrázoljuk a gyakoriságeloszlást; jelöljük meg az ennek átlagától sokkal többször vagy kevesebbszer eltalált tornyokat forró illetve halott toronyként. A döntés szigorúságát az dönti el, hogy egy adott analízis szempontjából a kaloriméter mekkora hányadának kizárása a még megengedhető veszteség.

A tapasztalat azonban azt mutatja, hogy ez az egyszerű módszer nem elég jó. Vannak ugyanis olyan tornyok, amelyek nem jeleznek találatot túl gyakran, így az előző módszer nem tekinti őket forróknak; ezzel szemben, amikor megszólalnak, akkor következetesen nagyon nagy, fizikailag valószínűtlen energiát jeleznek. Ezért a fent említett, gyakorisági eloszlásokon alapuló módszert különböző energiatartományokban külön-külön kell alkalmazni, ami a szükséges statisztikát megsokszorozza.

2) Fizikai energiakalibrációs módszerek: Mivel az EMCal nem hadron-kaloriméter, a RHIC nagy energiájú ütközéseiben keltett hadronok nem nyelődnek el a detektorban, hanem minimálisan ionizáló részecskeként (az angol rövidítésből: MIP-ként) haladnak rajta át. A hadronok által az anyagban leadott tipikus energia majdnem teljesen független azok energiájától, de függ az abszorbens anyagi minőségétől. Ez az energia a PbSc detektorban kb. 270 MeV, a PbGl-ben kb. 350 MeV. Ezek az értékek kijelölnek egy stabil pontot az energiaskálán.

Kihasználhatjuk azt a tényt is, hogy alacsony tömegük miatt az elektronok és a pozitronok a részecskefizikában gyakorlatilag mindig relativisztikusak. Ez azt jelenti, hogy az E energiájuk és p impulzusuk, amelyeket GeV-ben illetve GeV/c-ben mérünk, egyenlőek. Elektronazonosításra a PHENIX-ben használhatjuk a Cserenkovgyűrű-detektorunkat (RICH), az impulzust pedig méri a nyomkövető detektorok. Miután ezeken áthaladt az elektron, a kaloriméterben leadja a teljes energiáját, tehát azt is meg tudjuk mérni. Ha tehát az azonosított elektronok E/p mennyiségének eloszlását ábrázoljuk, egy 1 körüli csúcsot kapunk. A csúcs helyének 1-től való eltérése korrekciós tényezőt szolgáltat az energiaskálára.

Az elektronokkal való kalibrálás legfőbb nehézsége a hatalmas statisztikaigény: akkora adatmintát kell választani, hogy minden tornyot elegendő számú elektron-találat érje ahhoz, hogy megbízhatóan lehessen illeszteni az eloszlást. Tovább súlyosbítja a helyzetet, hogy elektronok eleve nagyon kis számban keletkeznek a hadronokhoz és a fotonokhoz képest.

A semleges pionok kb. 10^{-14} s élettidejével túlnyomórészt két fotonra bomlanak, a kaloriméterbe már ez a fotonpár érkezik meg. Ezek energiáját, helyét, érkezését idejét nagy pontossággal mérni tudjuk, és ez az energiakalibrációhoz is felhasználható. A két foton energiájából ugyanis meghatározható az anya-pion tömege, amelyről pedig tudjuk, hogy $135 \text{ GeV}/c^2$. Az eltérés az irodalmi értéktől korrekcióval szolgál az energiaskálára. Csakúgy, mint az elektronokkal való kalibrációnál, a nehézséget a nagy statisztika összegyűjtése okozza. A semleges pionokkal azonban annyival könnyebb dolgunk van, hogy azok nagyságrendekkel nagyobb számban keletkeznek, mint elektronok.

3) *Fizikai időkalibrációs módszerek:* A fotonok ismert sebességgel (fénysebességgel) utaznak, tehát ha tudjuk, mikor keletkeztek egy adott pontban, azt is meg tudjuk mondani, mikor kell a kaloriméterhez érniük. Ezért a részecskék érkezési idejének eloszlását ábrázolva, az első csúcs mindig a fotonokhoz tartozik.

Az időtengelyünk kezdőpontjául (amelyet tetszőlegesen kijelölhetünk) azt az időpillanatot választottuk, amikor az ütközésben keletkezett fotonok megérkeznek a kaloriméter felszínére. A nyers adatfolyamban az időtengely önkényesen van megválasztva, tehát a kalibráláskor a részecskék érkezési idejét úgy kell eltolni, hogy a fotoncsúcs az origóban legyen. Az energiaskála kalibrációhoz hasonló okokból ez az eljárás is nagy statisztikát igényel, hiszen minden egyedi tornyot be kell kalibrálnunk. Mivel az egyes tornyok nullpontja között is különbségek vannak, de a fizikai analízisekben természetesen minél több tornyot szeretnénk használni, azok közös pontba hozás a detektor időfelbontásának javításához is elengedhetetlen. (A 62,4 GeV-es Au+Au-ütközések adataiból végzett kalibrációval $\sigma = 300$ ps felbontást értünk el.)

Elektromosan töltött hadronok négyzetes tömegeloszlását ábrázolhatjuk impulzusuk, érkezési idejük és a megtett úthossz ismeretében. Ha az időskála rossz, a részecskék (pion, kaon, proton) tömegei is hibásan jönnek ki, amely szintén lehetőséget ad az időskála pontosságának ellenőrzésére illetve szükség esetén annak korrigálására.

4. FIZIKA – SEMLEGES PIONOK

Az elektromágneses kaloriméter segítségével elvégezhető vizsgálatok egyike a semleges pionok spektrumának meghatározása.

A semleges pionok 99%-ban két fotonra bomlanak, $8,4 \cdot 10^{-17}$ s átlagos élettartammal. ([2]). A PHENIX-ben a semleges pionok spektrumát a kombinációs módszer segítségével mérjük. Ennek lényege, hogy az analízis során egy eseményből származó minden egyes fotonszerű záport mindegyik másikkal összepárosítunk, és ezen párok invariáns tömegének eloszlását ábrázoljuk. Az így párosított fotonok túlnyomó részének nyilván semmi köze nincs a párjához (nem ugyanaból a pionból származnak), tehát a pár rekonstruált tömege egy tartományon belül véletlenszerű lesz, ami egy széles, folytonos háttéreloszlást eredményez. De lesz néhány kombináció, ahol történetesen egymáshoz tartozó fotonokat párosítottunk, ezek invariáns tömege ki fogja adni az anyarészecske tömegét. Ezen párok a széles háttéren határozott csúcsként jelennek meg a π^0 tömegénél, 135 GeV/c²-nél. Erre a módszerre azért van szükség, mert a priori nem tudhatjuk, hogy a kaloriméterbe beérkező fotonok közül melyek származnak ugyanaból az anyarészecskéből.

A nagyenergiás nehézion-ütközésekben előálló extrém körülmények – nagy energiasűrűség, nagy számú, a detektorba beérkező részecske – egy sor nehezen leküzdhető akadályt gördítenek a minket érdeklő fizikai jelenségek pontos vizsgálata útjába. Ezen nehézségek kezelésére az évek során meglehetősen ötletes technikák alakultak ki a PHENIX-nél. Ezek közül sorolnánk fel néhányat a teljesség igénye nélkül és a részletek (terjedelmi okok miatti) mellőzésével:

- eseménykeverési módszer a kombinatorikus háttér pontos meghatározására
- szimulált események valódi eseményekbe ágyazása az irreálisan nagy idő- és számításigényű teljes detektorszimuláció helyett, a rekonstrukciós hatásfokok kiszámítására
- „gyors Monte Carlo” módszer a szisztematikus hibák becslésére.

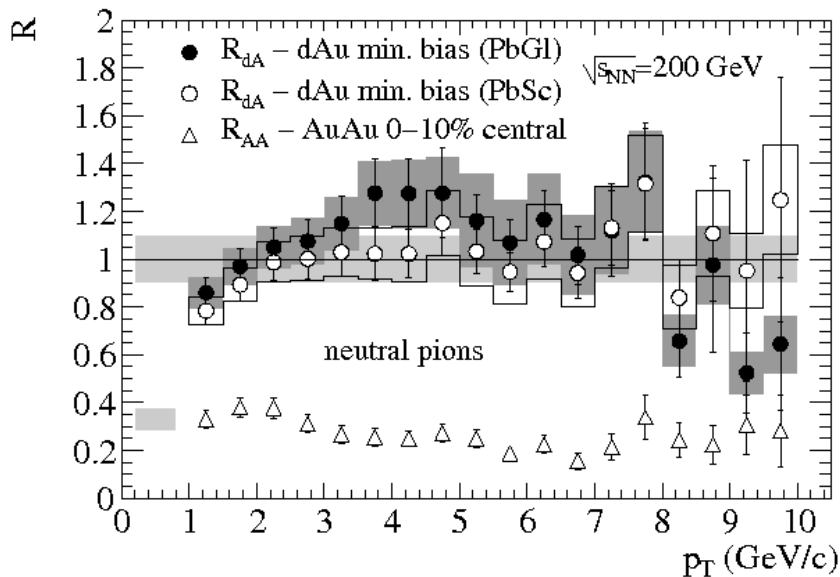
Nehézionok nagyenergiás ütköztetése révén lehetővé válik az atommag anyagának vizsgálata olyan energiasűrűségeknél, amelyeken az elméleti számítások szerint fázisátalakulás történik. Ezen fázisátalakulás során a nukleonok belsejéből azok összetevői, a kvarkok és gluonok kiszabadulnak, és egyfajta plazmaállapot, az úgynevezett kvark-gluon plazma keletkezik. Az

atommag-ütközésekben lejátszódó kemény folyamatok közvetlen információt hordoznak ezen közeg korai partonikus fázisáról ([3]). Ha a kialakult közegnek nincs hatása a kemény folyamatokra, akkor azt várjuk, hogy a keltett részecskék hozama a feltételezett egyedi nukleon-nukleon ütközések számával skálázódik, a kemény szórások nukleonütközésenkénti kis valószínűsége miatt. Ettől az egyszerű skálázódástól való bármilyen irányú eltérés a centrális atommag-ütközésekben információt hordoz a kialakult erősen kölcsönható közegről.

Az R_{AA} „maganyag-módosulási tényezőt” a p_T transzverzális impulzus függvényében ábrázolva kvantitatív képet kaphatunk a közeg hatásáról. Az

$$R_{AA} = \frac{(X + \text{Au} - \text{beli hozam})}{(p + p - \text{beli hozam})} \frac{1}{N_{\text{ütk}}} \quad (1)$$

menyiség tehát a vizsgált részecske nehézion-ütközésbeli és p+p-ütközésbeli hozamainak hányadosa, skálázva a nehézion-ütközésben feltételezett egyedi nukleon-nukleon ütközések számával. A 2. ábrán ezt ábráztuk semleges pionokra, annak transzverzális impulzusa függvényében. Az ábra megmutatja, hogy deuteron-arany ütközésekben a végállapotban nincs sűrű közeg ($R_{AA} \approx 1$). Arany-arany ütközésekben ezzel szemben a π^0 hozama kb. négyszer alacsonyabb a vártnál, ami a végállapotban sűrű, kvarkokat lassító-elnyelő közeg jelenlétére utal.



2. ábra Az R_{AA} maganyag-módosultsági tényező nukleonpáronként 200 GeV-es Au+Au és d+Au ütközésekben keletkezett semleges pionokra. Az egyes pontokon feltüntetett hibaintervallumok a statisztikus hibákat jelölik, a szürke sávval jelzett szisztematikus hibák a mért értékeket egyszerre, egy irányba eltoló effektusokat foglalják magukba.

FELHASZNÁLT IRODALOM:

- [1] L. APHECETCHE ET AL., “PHENIX Calorimeter, *Nuclear Instruments and Methods in Phys. Res. A* 499, 521 (2003)
- [2] S. EIDELMAN ET AL., “Particle Data Book”, *Phys. Lett. B* 592, 1 (2004)
- [3] S. S. ADLER ET AL., “Suppressed π^0 Production at Large Transverse Momentum in Central Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV”, *Phys. Rev. Lett.* 91, 072301 (2003)

EGY REPÜLŐGÉP FÉKLAP MŰKÖDTETÉSI KONSTRUKCIÓS PROBLÉMA FELTÁRÁSA FLUIDSIM SZOFTVERREL TÖRTÉNŐ MODELEZÉSSSEL

REVEALING A CONSTRUCTION PROBLEM OF OPERATING A BRAKE FLAP OF AN AIRCRAFT AND MODELING BY FLUIDSIM SOFTWARE

Dr. SZABÓ László – DOBOS Gábor

Egyetemi docens
ZMNE RLI
szabo.laszlo@zmne.hu

Repülőmérnök
imgabris@gmail.com

Kivonat: 2008 őszén került a ZMNE Repülő és Légvédelmi Intézet Repülő Sárkány-Hajtómű Tanszékéhez a FESTO cég hidraulikus oktató próbapadja és a hozzá kapott nagy értékű szoftverek. Ezekkel az eszközökkel a repülőgépek hidraulikus és pneumatikus rendszereinek oktatása egy más dimenzióba került. Mielőtt az oktatásban alkalmaztuk volna az eszközöket, kipróbáltuk egyszerű pneumatikus és hidraulikus rendszerek modellezésében. Már az első próbálkozásunk olyan problémát tárt fel, amelyet a repülőgép típusra rendszeresített, sem a légi, sem a földi üzemeltetési leírás nem tartalmazott. A vizsgálat tárgya a Jak-52 repülőgép féklap vezérlési rendszere.

A munkánkkal az volt a célunk, hogy felkeltsük a figyelmet a repülőgép egy konstrukciós problémájára, ami repülésbiztonsági szempontból nem elhanyagolható. Mivel ezt a repülőgép típust a Magyar Honvédségben a pilóta növendékek alapkiképzésében alkalmazzák, így a problémafelvetést és annak egy, vagy több lehetséges megoldását fontosnak ítéljük. Szükséges elmondani, hogy eddig ebből a konstrukciós problémából hazánkban nem volt rendkívüli esemény, de ha egy probléma fennáll, akkor a véletlenek összejárása miatt bármikor súlyos események forrása lehet. Ezt konstrukciós problémát modelleztük le **FESTO FluidSIM szoftverrel** és ennek felhasználásával kísérletet tettünk a probléma technikai megoldásaira.

Kulcsszavak: féklap vezérlés modellezése és technikai problémák megoldásai

Abstract: On its 2008 autumn educating hydraulic testing-bench of FESTO arrived at Professorship of the Zrínyi Miklós National Defense University Bolyai János Military Technical Faculty Aviation Training and Air Defence Institute with received the great worth software. Education of the aircraft systems took to different dimension with these set of tools. Before we would have employed the set of tools in education, we had tried at modeling of simple pneumatic and hydraulic systems. Our first attempt has already dug up problem which aircraft had normalized to type neither the aerial nor the operation instruction contained. The examination has an object a craft control system of the Jak-52 brake flap. We had had a goal with our job that we stir up the attention onto one of problem with construction of the aircraft what is not piddling from flying safety viewpoint. Because this the craft type in Hungarian Defence Forces are employing for the pilots at scholars' basic training, so the putting the question to his one or more potential solutions we judge for important one. Necessary to tell, that till now from this problem with construction in our country there was not an unexpected incident, but if a problem exists, then source of heavy events can be because of collusion of the chances any time. We modelled this construction problem with FESTO FluidSIM software besides we deposited a try with exertion of this onto technical solutions of the problem.

Keywords: modelling control of brake flap and technical solutions of his problem

1. A FÉKLAP MŰKÖDÉS VEZÉRLÉSÉNEK VIZSGÁLATA

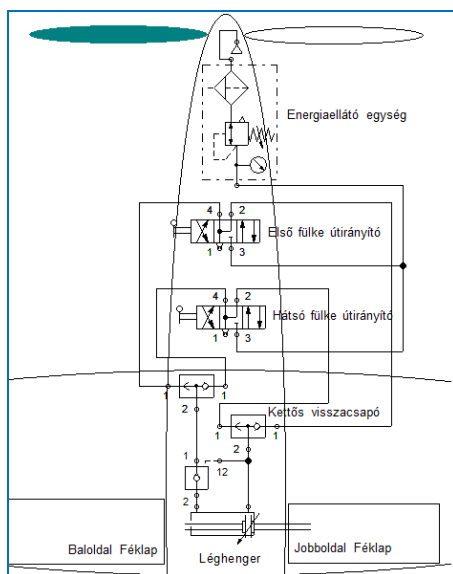
Az oktató, kiképző repülőgépekre jellemzően, úgymint a vizsgált repülőgép -**Yakovlev Jak-52**- féklapjának működtetése mindkét fülkéből lehetséges. A működtetés a féklap kinti és benti helyzetének vezérlését jelenti a kétüléses repülőgép bármely fülkéjéből féklap vezérlő karokkal. Normál helyzetben a féklap működtetésére sor kerül a repülőgép leszállásakor, ill.

egyéb esetben bármely repülési helyzetben, a korlátozások szerint 170 km/h repülési sebesség alatt, a repülőgép útirányú repülési sebességének csökkentésére.

1.1. A kapcsolási rajz, funkciódiagram

A *Festo FluidSim* programmal készült kapcsolási rajz (1. ábra) a Yak-52 repülőgép féklap vezérlő pneumatikus rendszer elemeit tartalmazza. A funkciódiagram a vezérlő és a végrehajtó elemek szimulációs működését ábrázolja jel, idő, út függvényében.

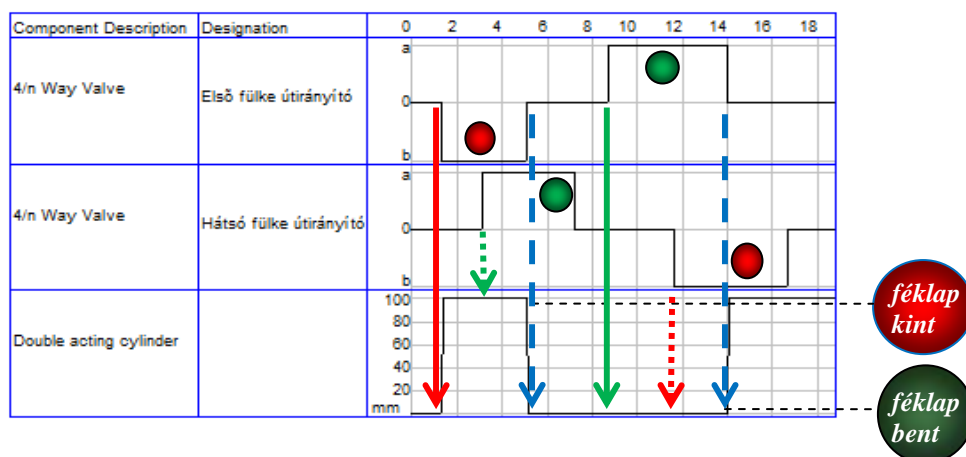
Az alábbi kapcsolási rajz funkciódiagramja tehát a féklap vezérlő pneumatikus rendszer működési fázisait ábrázolja.



1. ábra Kapcsolási rajz (*Yakovlev* Yak-52)

Az első és a hátsó fülke útirányítóinak kapcsolási helyzete (a vagy b) határozza meg a léghenger helyzetét (a 2. ábrán $l_z = 0-100$ mm), ezáltal a féklap kinti ill. benti állását.

A féklap vezérlés hátsó fülkéből felülbírálásához semleges helyzetbe kell állítani a vezérlő kart az első fülkében. A hátsó fülke útirányító kapcsolása előtt, a léghenger már elmozdul a szimuláció során. A léghenger elmozdulásának az első fülke útirányítójának semleges és a hátsó fülke útirányítójának bekapcsolásakor kellett volna bekövetkezni.



2. ábra Funkciódiagram felülbíráláskor

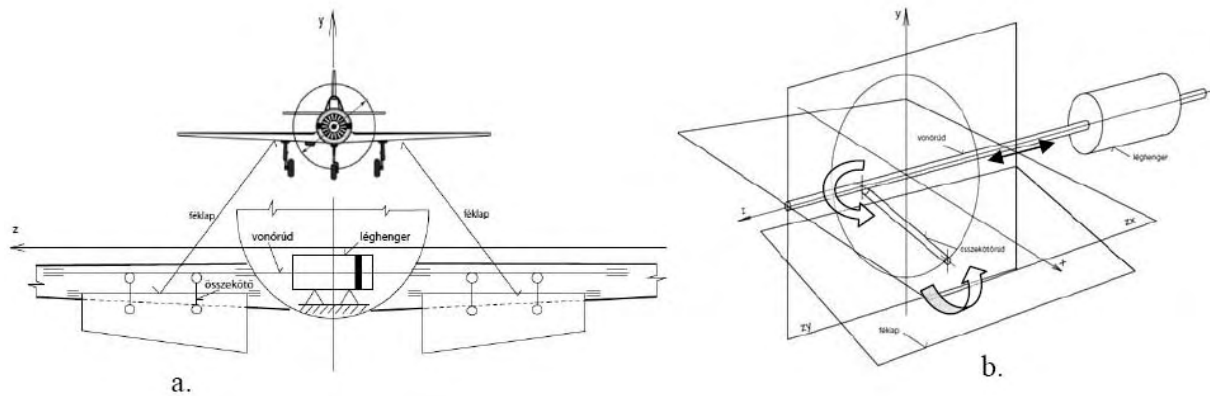
Az előbbi szimulációs diagramban (2. ábra) az első fülke féklap vezérlő jelének a felülbírálnak látható - a hátsó fülkében kapcsolt útírányítóval - amellet, hogy nincs semleges helyzetben az első fülke útírányítója. Erre a programmal szimulált működési helyzetre szükséges magyarázatot adni, ill. vizsgálni a repülés közben kialakuló jelenséget.

Összefoglalva az előbbieket a szimuláció szerint a féklap vezérlésének felülbírálnak a hátsó fülkéből akkor is lehetséges, ha az első fülkében nincs semleges helyzetben a vezérlő kar.

Repülés közben csak semleges helyzetbe állított első fülke vezérlőkar állás mellet lehetséges az ún. felülbírálnak a hátsó fülkéből.

2. A FÉKLAP MŰKÖDTETŐ MECHANIZMUS VIZSGÁLATA

A Jak-52 repülőgép a féklapját két darab összekötőrudon, azokkal összekötött működtető vonórúddal (3.a. ábra) átadott pneumatikus erő kifejtés mozdítja a vezérlésnek megfelelően kinti, vagy benti helyzetbe.



3. ábra a. Féklap működtető mechanizmus vázlata, b. Mozgási síkok

2.1. A mechanizmus

A féklap működtető mechanizmus fő elemei a pneumatikus munkahengerrel összekötött működtető vonórúd, és az összekötőrud. A működtető vonórúd mozgása kereszttengety irányú, megegyezik a pneumatikus munkahenger dugattyújának mozgásirányával. Az összekötőrud a hossz, a kereszt, és a függőleges tengelyek irányában is mozgást végez (3.b. ábra).

2.2. A féklapot mozgató erők

A féklap mozgatása a léghengerrel történik. A pneumatikus erő kifejtés mellett, mint az áramlásba helyezett testen légerők is létrejönnek.

Ennek a következménye az x, hossztengetyirányú F_x ellenállási erő növekedése (4.a. ábra), és a repülőgép mozgási sebességének csökkenése. Emellet bizonyos nagyságú F_y , függőleges tengelyirányú erő (4.b. ábra) is keletkezik a féklap felületen.

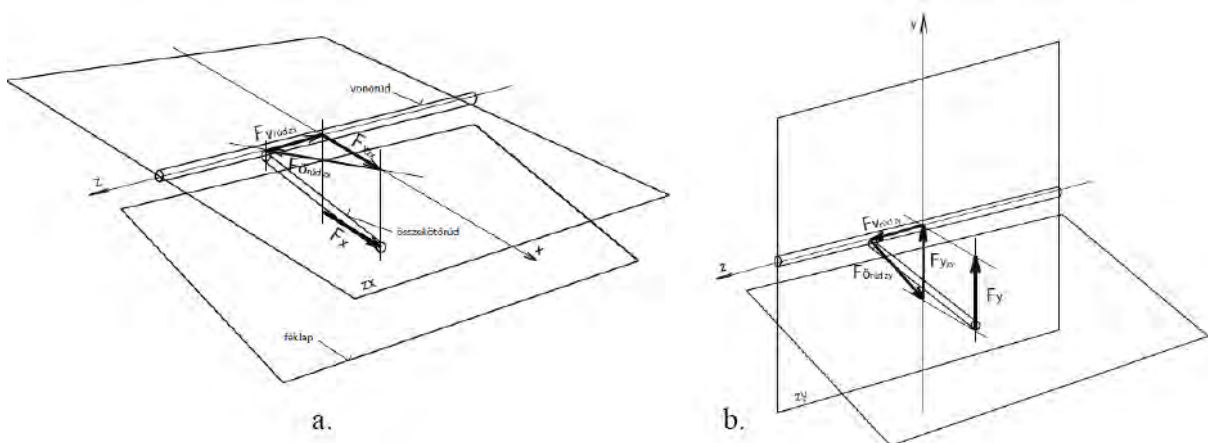
$$F_{\text{vrúd } Z} = F_{\text{vrúd } ZX} + F_{\text{vrúd } ZY} \quad (5)$$

$$\sum F_Z = F_{\text{pneum.}} + F_{\text{vrúd } Z} - F_S - F_a \quad (6)$$

$$F_{\text{vrúd } Z} = f(c_x, c_y) \quad (7)$$

ahol:

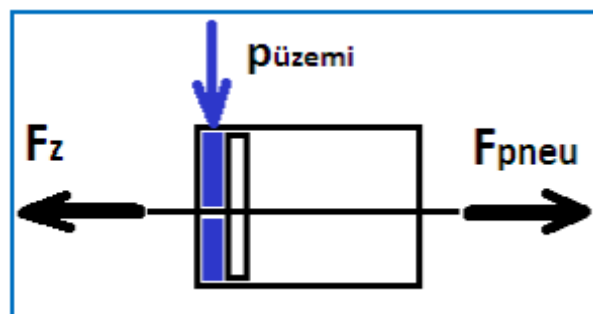
- $F_{vrúd\ Z}$ – a felhajtó és ellenállás erők z tengely irányú eredője a működtető vonórúdon;
 ΣF_Z – z tengely irányában ébredő erők eredője a működtető vonórúdon;
 c_x, c_y – a féklap felhajtó-, és ellenálláserő tényezője.



4. ábra a. Légellenállási erő hatása a működtető vonórúd mozgására,
 b. Felhajtóerő hatása a működtető vonórúd mozgására

Tehát a féklap α nagyságú szögelfordulását, és a működtető vonórúd l_z [mm] nagyságú elmozdulását a dugattyúrúd bekötésénél átadott F_P pneumatikus erő, a dugattyú és a léghengerfal között ébredő F_S súrlódási erő, F_a tehetetlenségi erő, továbbá a működtető mechanizmuson keresztül légerők Z keresztengely irányában ébredő $F_{vrúd\ Z}$ komponense határozzák meg. Az első vagy a hátsó fülkéből vezérlés, ill. a féklap helyzetének felülbírálásakor az erők alakulása:

1.) féklap kiengedés (5. ábra): amikor vonórúdon $F_{vrúd\ Z} = 0$ N, $l_z = 0$ mm



5. ábra Léghenger működtetése féklap kiengedésekor

$$\Sigma F_Z = F_{pneum\ ki} = p_{üzemi} \cdot A \quad (8)$$

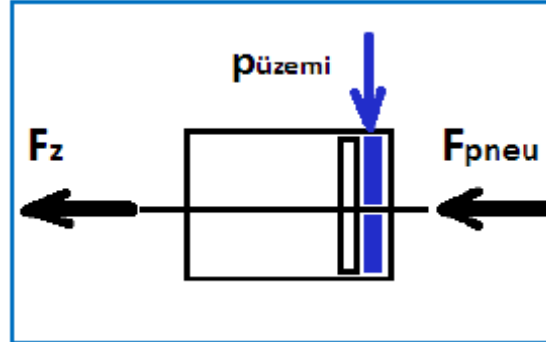
ha vonórúdon $F_{vrúd\ Z} > 0$ N, $l_z > 0$ mm

$$\Sigma F_Z = F_{pneum\ ki} - F_{vrúd\ Z} - F_S - F_a = p_{üzemi} \cdot A - F_{vrúd\ Z} - F_S - F_a \quad (9)$$

A féklap kiengedésekor a F_{pneum} pneumatikus erő és a vonórúdon ébredő $F_{vrúd\ Z}$ erő, F_S súrlódási erő, F_a tehetetlenségi erő különbsége határozza meg a működtető erő eredőjét.

2.) féklap behúzás (6. ábra): amikor vonórúdon $F_{vrúd\ Z} = 0\text{ N}$, $l_Z = 0\text{ mm}$

$$\sum F_Z = F_{pneum\ be} = p_{üzemi} \cdot A \quad (10)$$



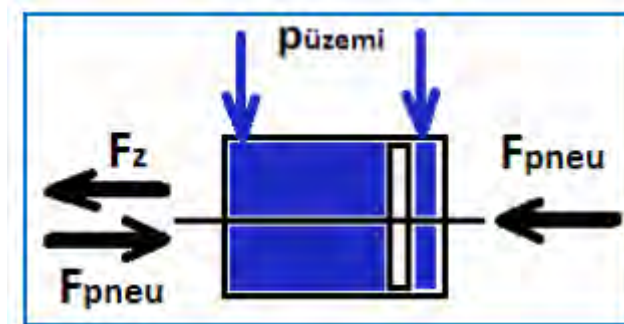
6. ábra Léghenger működtetése féklap behúzásakor

amikor vonórúdon $F_{vrúd\ Z} > 0\text{ N}$, $l_Z > 0\text{ mm}$

$$\sum F_Z = F_{pneum\ be} + F_{vrúd\ Z} - F_S - F_a = p_{üzemi} \cdot A + F_{vrúd\ Z} - F_S - F_a \quad (11)$$

A féklap behúzásakor a működtető erő nagyságát a pneumatikus erő és a vonórúdon ébredő $F_{vrúd\ Z}$ erő és a F_S súrlódási erő, F_a tehetetlenségi erő összege határozza meg.

3.) A hátsó fülkéből a féklap működtetés vezérlésének felülbírálása (7. ábra), ha nincs semleges helyzetben az első fülke vezérlőkar: amikor a vonórúdon $F_{vrúd\ Z} = 0\text{ N}$, $l_Z = 0\text{ mm}$



7. ábra Léghenger működése felülbírálaskor (mindkét fülkéből vezérelve)

$$\sum F_Z = F_{ki} - F_{be} \text{ és mivel } F_{ki} = F_{be}, \text{ tehát}$$

$$\sum F_Z = 0\text{ N} \quad (12)$$

A működtető vonórúdon ébredő $\sum F_Z$ eredő erő nagysága zérus, mivel mindkét dugattyútérben azonos nagyságú levegőnyomás ellentétes irányú erőket hoz létre a féklap akár kinti, akár benti helyzetében. Így a működtető vonórúd nem mozdul el, $l_Z = 0\text{ mm}$.

A valós repülési körülmények között - a *FluidSim* programban tapasztalttal ellentétben - nem mozdul el a féklap. A kinematikus felépítés sajátossága miatt eltérő az eredmény a valóságban a szimulációhoz képest.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

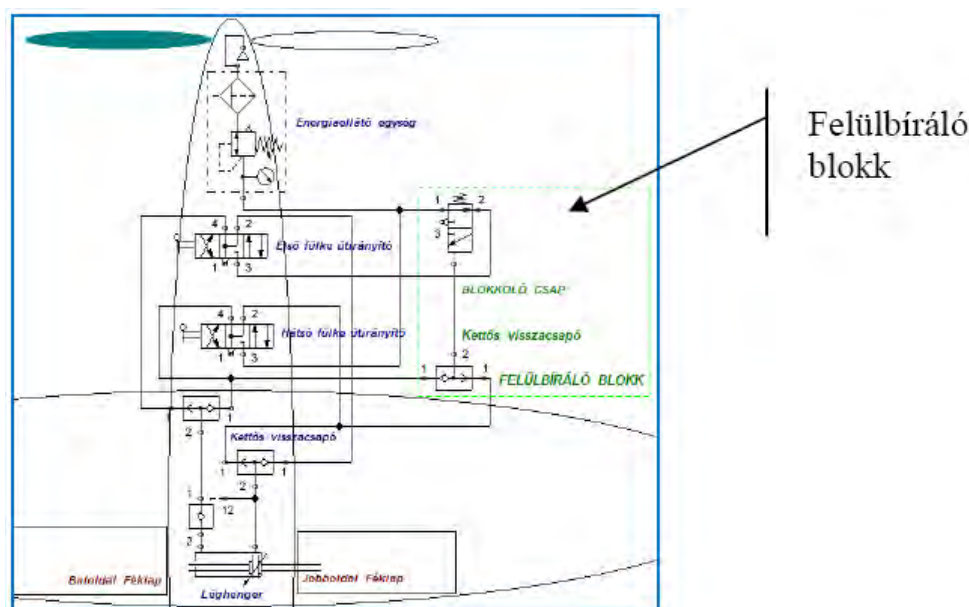
A *Festo FluidSim* szimuláció szerint az első fülkében a vezérlő kar –útváltó szelep- semleges helyzetbe állításakor a kinti helyzetű féklapnak behúzás irányú mozgása van, semleges hátsó fülke vezérlőkar – útváltó szelep - állásnál. Ez nem következik be a valóságos repülési helyzetben, mivel az összekötő rúd merőleges helyzetben van a működtető vonórúdra, az nem mozdul el a légerők hatására sem.

Ha az első fülke vezérlőkar nincs semleges helyzetben a behúzás, kiengedés nem végrehajtható –a felülbírálás!- a hátsó fülkéből. Ekkor ugyanis a féklapot összekötő rúdon közvetve működtető vonórúdra ható pneumatikus erők egyensúlyban vannak a léghengerben. Ennek következtében a féklap nem fog elmozdulni ($l_z=0$ mm). Az F_R légerők nem befolyásolják a mechanizmus mozgását ebben a helyzetben, mivel ezek az erők merőlegesen hatnak az összekötő rúdon keresztül a működtető vonórúdra. Amíg a léghenger ún. féklap kiengedés teréből a levegő nincs kivezetve a féklap kinti helyzetben marad.

Megállapítható, hogy a féklap helyzet „felülbíráhatósága” (a vizsgált pneumatikus rendszerben) *normálisan* akkor történhet meg, ha az első fülke vezérlőkarja semleges helyzetben van.

Véleményünk szerint ez a vezérléstechnikai megoldás *nem felel meg* a felülbíráással szemben támasztott követelményeknek.

A Yak-52 repülőgép féklap vezérlésének felülbírálására többféle vezérlőrendszer kialakítás lehetséges. Egy lehetséges megoldást az alábbi ábra (8. ábra) tartalmaz. A megoldást egy a felülbíráló blokk beépítése jelenti. Ezáltal kizárólag az oktató vezérlési szándéka szerint történik a léghenger mozgatása, ill. a féklap kiengedése vagy a behúzása.



8. ábra Féklap vezérlés felülbíráhatóságának egyfajta megoldása

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Bevezetés a pneumatikába. Festo, Budapest, 2001.
- [2] BOZÓ-CSANAK, Pneumatikus berendezések üzemeltetése és karbantartása, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975.
- [3] The definitive pilots operating handbook for the Yakovlev Yak 52, Bona Sera Investments (Pty) Ltd., 2003.

GYENGÉN ÖTVÖZÖTT, KIS KARBONTARTALMÚ ACÉLOK KARBONITRIDÁLÁSA

CARBONITRIDING OF LOW ALLOYED LOW CARBON CASE HARDENING STEELS

Bíró Andrea¹ – Szabó Endre² – Dr. Tisza Miklós³

¹doktorandusz, biro.andrea@uni-miskolc.hu

²egyetemi adjunktus, ³tanszékvezető, egyetemi tanár, tiska.miklos@uni-miskolc.hu

Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Mechanikai Technológiai Tanszék

Kivonat: A nitridálás kopásálló felületi rétegek létrehozására az egyik leghatékonyabb módszer. A hagyományos nitridálás legnagyobb hátránya jelentős időigénye. A karbonitridálás ezt igyekszik csökkenteni a nitridáló atmoszférához (ammóniához) adagolt széndioxid segítségével, amely meggyorsítja a bomlástermékek távozását a felületről, s így a nitrogén adszorpcióját. Az előadás célja három betétben edzhető acél esetében bemutatni a nitridált kéreg mélységének változását a karbonitridálási idő függvényében. A rétegmélységet és a réteg keménységet jelentősen befolyásolja, hogy az acél mennyi nitridképző ötvözőt tartalmaz. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a nitridáláshoz képest jóval kevesebb idő szükséges ugyanakkora rétegmélység eléréséhez.

Kulcsszavak: gáz közegű karbonitridálás, keménységrátervez

Abstract: Nitriding is one of the most effective process to produce wear-resistant surface layer. The biggest difficulty is the very long process time. It is aimed to reduce by carbonitriding which is mainly due to carbon dioxide added to the nitriding atmosphere (ammonium). The carbon dioxide accelerates leaving the decomposition product from the surface and thus the adsorption of the nitrogen. The aim of this paper is to demonstrate the variation of the nitriding depth as a function of the nitriding time on three case-hardening steel. The nitrid-former elements have significant effect on the nitriding depth and hardness profile. On the basis of the experimental results it can be stated that carbonitriding can provide the same layer-depth during shorter time than conventional nitriding.

Keywords: gas carbonitriding, hardness profile

1. BEVEZETÉS

1.1. A gázkezegű karbonitridálás technológiája

Az acélok kopásállóságának növelésére az egyik leghatékonyabb módszer a nitridálás. A nitridált kéreg magasabb hőmérsékletig őrzi meg kedvező kopási tulajdonságait, mint a cementálás során előállított felületi réteg. A kisebb technológiai hőmérséklet csökkenti a mérettorzulást mértékét. Ráadásul ez a mérettorzulás a technológia pontos szabályozhatósága miatt jól tervezhető, számítható így a nitridálandó alkatrész már nitridálás előtt készre munkálható, a mag szükséges tulajdonságai pedig a nitridálás előtt a kívánt értékre beállíthatók (általában normalizálással vagy nemesítéssel) [1].

A nitridálás technológiájának legnagyobb korlátja, hogy igen hosszú a technológiai idő. A réteg kialakulásának időszükséglete két tényezőtől függ. Az egyik tényező, az aktív/reakcióképes nitrogénatom megkötődésének (adszorpciójának) sebessége, a másik az adszorbeálódott nitrogén diffúziójának sebessége. Az adszorpció sebessége nitridálás során a gáztér aktivitásával befolyásolható. A nitrogén atom diffúziójának hajtóereje a koncentrációkülönbség, azonban a diffúziós sebesség nemcsak ettől függ, hanem a fémtani állapottól is.

Karbonitridálással felgyorsítható a nitrogénatom adszorpciója. Nitridálás során a gáztérbe vezetett ammónia részlegesen disszociál az (0.1) egyenlet szerint.



A képződött atomos reakcióképes nitrogén atomok egy része adszorbeálódik a nitridálendő darab felületén, míg a többi molekulává alakul és távozik a felülettől. Karbonitridálás során az ammónia mellé széndioxidot adagolnak. A széndioxid az ammónia bomlásakor keletkezett hidrogéngázt vízgőz formájában megköti az (0.2) egyenlet szerint.



Ennek köszönhetően az ammónia bomlástermék gyorsabban távozik el a darab felületéről, ezáltal felgyorsul az adszorpció.

1.2. A kialakult réteg szerkezete

A nitridált acélban a N vagy a vas szilárd oldatának rácsában oldódva, vagy valamilyen fémes vegyület formájában kötött állapotban fordul elő. A nitrogén a vason kívül a nitridképző ötvözőelemekkel (Si, Cr, Mo, V, Nb, Ti, Al ...) nitrideket képez. Ezen kívül a nitrogén oldódhat karbidokban is, illetve a karbidokban helyettesítheti a karbont.

A nitridálással kialakított igen bonyolult szerkezetű kéreg optikai mikroszkópon is jól megkülönböztethető két részből áll, nevezetesen a felületig terjedő, nitridekből (mikroszkópos vizsgálatnál fehérnek látszó vegyületi zónából) és az alatta lévő diffúziós zónából (belső nitridálási zóna).

Szobahőmérsékletre lehűlve a vegyületi zóna a felületen ε fázisból áll. A felülettől távolabb kétfázisú: ε és γ' fázisokat találunk. A karbonitrid ε fázis kevésbé rideg és nagyobb kopásállósággal rendelkezik, mint az ε nitrid. [1]

A belső nitridálási zóna α szilárd oldatból és az alapfém, valamint az ötvöző elemek nitridjeiből áll. Ezért tulajdonságait a mátrix tulajdonságai és a nitridek minősége, mennyisége, mérete, alakja, eloszlása határozza meg. Ennek megfelelően több lehetőség van a belső nitridálási zóna tulajdonságainak változtatására. Például adott acél nitridálási hőmérsékletének és idejének megfelelő variálásával különböző állapotban rögzíthetjük a kiválási folyamatokat, s ennek megfelelően különböző tulajdonságokat kapunk.

Az ötvöző elemek a belső nitridálási zóna egyes fázisai között egyenlőtlenül helyezkednek el. Az Al és a Si alapjában véve a γ' fázisban koncentrálódik, míg az átmeneti fémek (Cr, Mo, V, Ti, stb.) elsősorban az α fázisban oldódnak. [1]

2. KARBONITRIDÁLÁS

2.1. A kísérlet leírása

Mivel a nitridálás – és így a karbonitridálás sok helyen a betétedzés helyettesítő eljárása – ezért célszerű a kísérleteket betétedzésű acélokon elvégezni. Az

1. táblázat tartalmazza a kísérletekhez felhasznált 3 acélminőség összetételét.

A karbonitridálást gázkeverékben végeztük. A bevezetett gázkeverék: 250 l/h NH_3 + 10 l/h CO_2 + 50 l/h N_2 . A kísérlet során nitridált darabok méretei: BE1: 18x17x4,5 mm, BE2: 14x10x8 mm, BE3: 12x8x8 mm.

A karbonitridálást 570°C-on, állandó hőmérsékleten végeztük, időtartamát rendre 10-20-30-40-50 órára választottuk. A nitridálás után a darabokat nitrogéngáz-áramban hűtöttük

200°C-ig, majd szobahőmérsékletig levegőn.

	C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Mo, %	V, %	Al, %
BE1	0,2	0,7-1,2	0,4-0,8	0,8-1,0	0,2-0,3	-	-
BE2	0,16-0,2	1,5-1,7	0,6-0,9	1,0-1,4	0,3-0,6	-	-
BE3	0,11	0,4	0,3	2,1	0,35	0,1	0,5

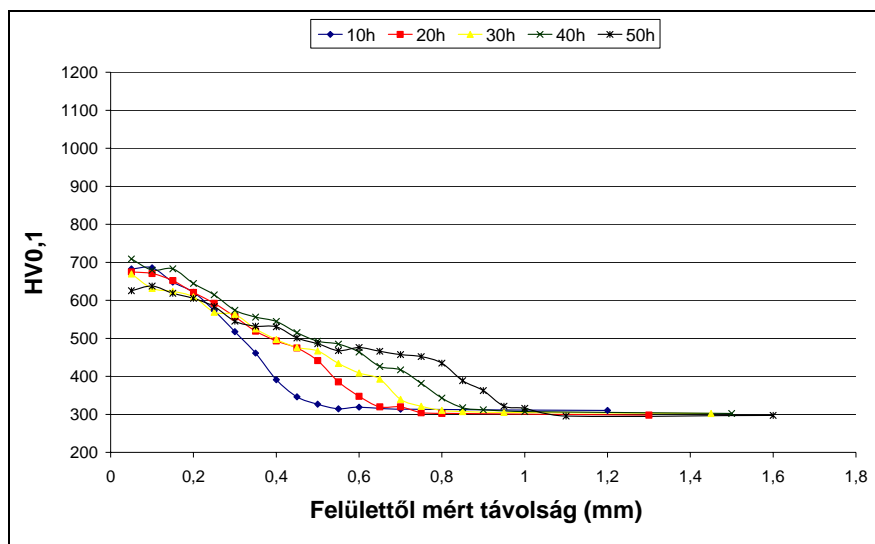
1. táblázat. A kísérlet során használt anyagminőségek kémiai összetétele

A hőkezelés után a darabokat egy erre a célra rendszeresített készülékbe fogtuk. Annak érdekében, hogy a további előkészítés során a kemény, rideg felületi réteg ne sérüljön egy rézlapot tettünk a darabok mellé. A kéregmélység meghatározásához a darabokat köszörülés után megcsiszoltuk, majd polírozás után 2%-os Nitál-lal marattuk. Ezek után a kéregmélység meghatározásához minden darabon 3-3 keménységmérést végeztünk, mikrovickers eljárással, 100 g-os terhelőerővel, 10 másodperces terhelési idővel. E három mérési sorozat átlagával készültek a későbbiekben bemutatott keménység-eloszlási diagramok. A vegyületi réteg meghatározása a mikroszkópi kép alapján egyértelműen elvégezhető volt, míg a diffúziós zóna mélységét a keménységmérések eredménye alapján, az alapszövetnél 50 HV0,1-el nagyobb keménységi értékhez tartozó távolságnál határoztuk meg.

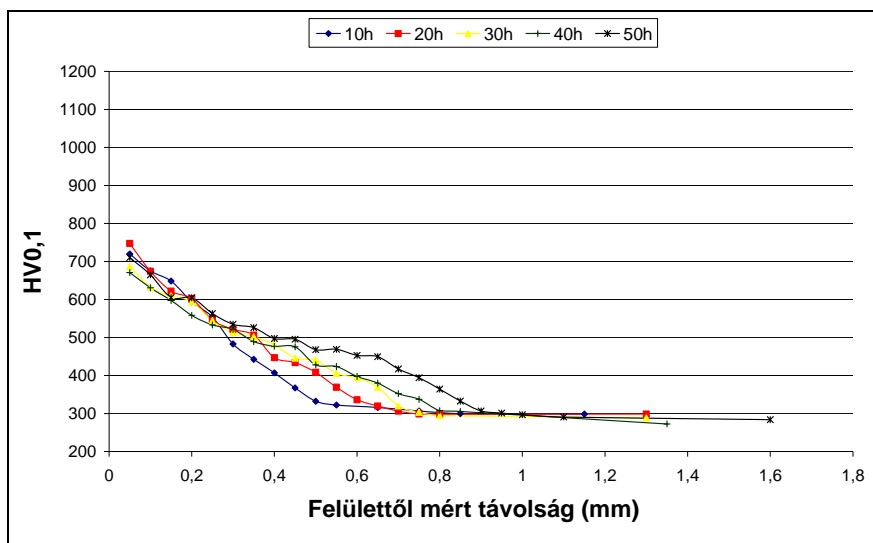
2.2. Az eredmények

A keménységmérés után megrajzolhatók az egyes karbonitridálási időtartamokra és anyagminőségekre a keménység-eloszlási diagramok.

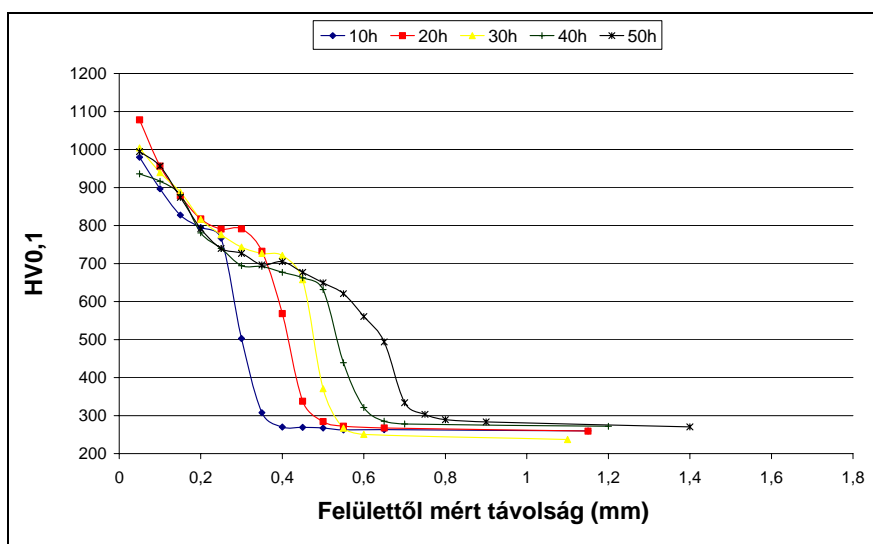
A BE1 anyagminőségen mért keménységeloszlást mutatja az 1. ábra.



1. ábra A BE1 anyagminőség keménységeloszlása különböző nitridálási idő után
A BE2 anyagminőségen mért keménységeloszlást mutatja a 2. ábra.



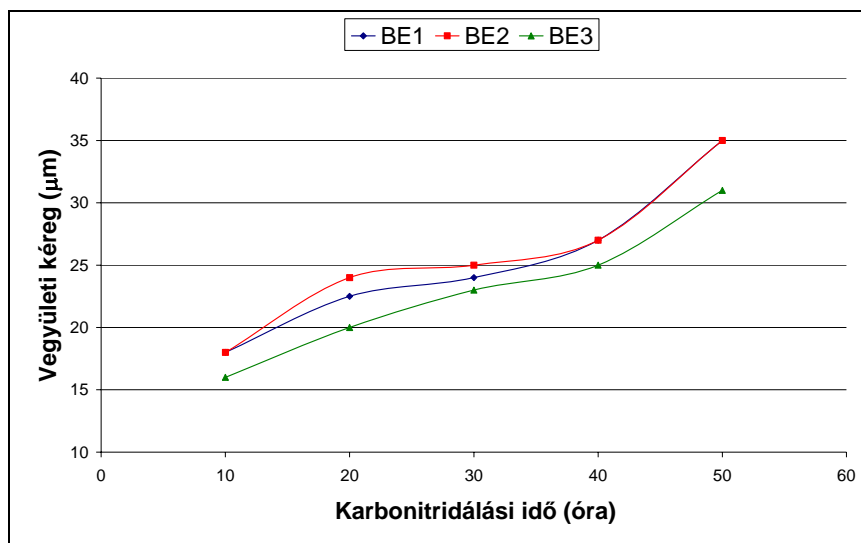
2. ábra A BE2 anyagminőség keménységeloszlása különböző nitridálási idő után
A BE3 anyagminőségen mért keménységeloszlást mutatja a
3. ábra



3. ábra A BE3 anyagminőség keménységeloszlása különböző nitridálási idő után

A diagramokon jól látható, hogy a karbonitridálási idő növekedésével a kéregvastagság mindhárom esetben növekszik. A három anyagminőséget összehasonlítva, az is látható, hogy a BE1 és BE2 jelű anyag hasonló összetétele hasonló keménységeloszlást eredményez. A BE3 jelű anyag jóval nagyobb arányban tartalmaz nitridképző elemeket, amelyek egyrészt növelik a diffúziós zóna keménységét, másrészt ez az oka a kéreg és az alapanyag határán lévő hirtelen (nagy mértékű és rövid távolságon belül bekövetkező) keménységcsökkenésnek. A mikroszkópi képen jól elkülöníthető vegyületi, ún. fehér réteg vastagságának alakulását a különböző anyagoknál a

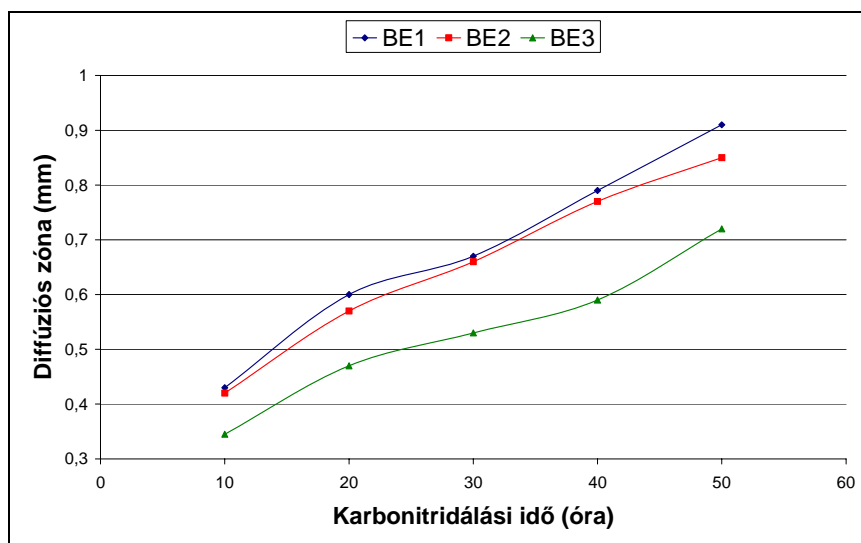
4. ábra mutatja.



4. ábra A vegyületi kéreg vastagsága a nitridálási idő függvényében

A vegyületi kéreg esetében „túlnitridálás” (vagyis túl sok nitrogén felvétele) esetén előfordulhat, hogy porozitás lép fel, amely jelentősen rontja a kopásállóságot. Ennek oka az, hogy a felületen olyan sok nitrogén kötődik meg, amely már nem képes diffúzióval a belsőbb rétegek felé haladni, hanem a felület közelében molekulává alakul, pórusokat hozva létre. Jelen esetben egyik próbatesten sem volt megfigyelhető porozitás a vegyületi rétegben. A pórusmentes vegyületi réteg nagymértékben javítja a felület kopásállóságát így növeli az alkatrész élettartamát. A diffúziós zóna már rosszabb kopási tulajdonságokkal rendelkezik, mint a vegyületi réteg, azonban a kopásállóságot ez a zóna is javítja. Az ábrából ismét jól látható, hogy a BE1 és BE2 anyagok közel azonosnak mondhatók nitridálás szempontjából, míg a BE3-as anyagminőségen jóval kisebb a vegyületi kéreg.

A diffúziós zóna mélységét ábrázolja az 5. ábra a nitridálási idő függvényében a három anyagminőségnél.



5. ábra A diffúziós zóna mélysége (mm)

Hagyományos nitridálással általában 40 óra alatt érhető el 0,4 mm-es réteg [2, 3]. A kapott

eredményekből látható, hogy karbonitridálással mindhárom anyagminőségénél ugyanennyi idő alatt nagyobb rétegvastagság volt elérhető.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

Az előadásban bemutatott eredmények alapján megállapítható, hogy a karbonitridálás eredményesen alkalmazható eljárás betétedzésű acélok esetében. A kialakított kéregben a vegyületi zóna minden esetben pórusmentes volt. A kísérleti eredmények azt is igazolták, hogy a karbonitridálással előállított kéreg mélysége meghaladja az ugyanannyi idő alatt hagyományos nitridálással elérhető kéregmélységet. Mivel a kopásállóság egyértelműen összefüggésben van a keménységgel, ezért az is egyértelműen kijelenthető, hogy a vizsgált anyagok kopásállósága karbonitridálással javítható. A kopásállóság pontosabb értékelése, minősítése érdekében célszerű átfogó kopásvizsgálatokat is végezni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **LIZÁK J., ROMVÁRI P., SCHÄFFER J., SZABÓ E.:** Szerkezeti-és szerszámacélok termokémiai kezelése A1 hőmérséklet alatt, Gépipari Tudományos Egyesület X. Országos Hőkezelési Szeminárium előadás és poszter kivonatai, Miskolc-Tapolca, 1983. október 26-28.
- [2] **SMÓLING KÁLMÁN:** Az acélok és a vas hőkezelése, 2. átdolgozott kiadás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976. , p 117
- [3] **G. KRAUSS:** Steels: Heat Treatment and Processing Principles, ASM International, 1997. ISBN: 0-87170-370-X, p. 305-315

Si₃N₄ KERÁMIÁK MECHANIKAI VISELKEDÉSE I. KVÁZISTATIKUS ÉS DINAMIKUS TERHELÉSI JELLEMZŐK

MECHANICAL CHARACTERISATION OF Si₃N₄ CERAMICS I. QUASI-STATIC AND DYNAMIC CHARACTERISATION

MAROSNÉ BERKES Mária

egyetemi docens

Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék
metmar@uni-miskolc.hu

Kivonat: Si₃N₄ alapú monolitikus és karbonnal adalékolt kompozit kerámiák mechanikai viselkedését tanulmányoztuk kvázistatikus, dinamikus terhelési és különböző tribológiai feltételek között. Jelen cikkben monolitikus és karbon nanocső (CNT) erősítésű Si₃N₄ kerámiák kvázistatikus és dinamikus jellemzőinek vizsgálati tapasztalatairól számolunk be. Ismertetjük a rugalmassági modulus, hajlítószilárdság, és a keménység, továbbá a statikus és dinamikus törési szívósság jellemző értékeit. A komplex mechanikai jellemzés célja az újonnan kifejlesztett műszaki kerámiák teljesítőképességének értékelése és újabb alkalmazási lehetőségek feltárása.

Kulcsszavak: szilícium-nitrid, kerámia kompozitok, karbon adalék, statikus és dinamikus mechanikai tulajdonságok, modulus, szilárdság, keménység, törési szívósság, fraktográfia

Abstract: Mechanical behaviour of Si₃N₄ based monolithic and composite ceramics with carbon additives has been studied in quasi-static, dynamic loading and tribological conditions. The paper aims at introducing the results of quasi-static and dynamic test procedures accomplished on monolithic and carbon nanotube (CNT) reinforced silicon nitride ceramics. Among the others, the Young's modulus, strength characteristics, hardness, as well as the quasi-static and dynamic fracture toughness values are presented. The main objective of the complex mechanical characterization is to evaluate the mechanical performance of the tested ceramic materials and to reveal new application potentials for the new composite materials.

Keywords: silicon-nitride, ceramic composites, carbon additives, quasi-static and dynamic mechanical properties, modulus, strength, fracture toughness, fractography

1. BEVEZETÉS

A Si₃N₄ alapú kerámiák a különféle kedvező tulajdonságokat egyedülálló kombinációban társítják, ezért felhasználásuk nemcsak széleskörű, de a legnehezebb igénybevételi körülmények között is vezető szerepet töltenek be a műszaki alkalmazásokban, így pl. szerkezeti kerámiák formájában. A rideg anyagok, így a kerámiák legfontosabb mechanikai tulajdonságai a keménység, a rugalmassági modulus, a hajlítószilárdság, valamint a szívósság mérőszámai, továbbá a kopással szembeni ellenállás. Monolitikus formában ezek a tulajdonságok hatékonyan már nem javíthatók tovább, ezért napjainkban az anyagtechnológiai fejlesztések középpontjában a különböző erősítő-anyagokkal kombinált kerámiák előállítása áll. Az egyik legkorszerűbb fejlesztési irány a karbon-nanocsővel, TiC, vagy SiC részecskével történő megerősítés.

Egy több éves átfogó kutatási program keretében Si₃N₄ alapú monolitikus és kompozit kerámiák mechanikai viselkedését tanulmányoztuk kvázistatikus [1, 2] és dinamikus [3, 4] terhelési, továbbá tribológiai [5, 6, 7] viszonyok között. A cikk a monolitikus (MONO) és karbon-nanocső erősítésű (CNT) Si₃N₄ kerámiákon végzett vizsgálatok alapján a rugalmassági modulus, a hajlítószilárdság, és a Vickers keménység, valamint a Vickers lenyomatos, azaz kvázistatikus törési szívósság, valamint a dinamikus törési szívósság

meghatározását ismerteti. Az alkalmazott vizsgálatok döntően ismert szabványos eljárások, kivéve a dinamikus törési szívósság meghatározását, amely műszerezett ütővizsgálatra és olyan kiegészítő vizsgálati technikákra épült, mint az elektro-emissziós mérés és a fraktográfia módszere.

A vizsgált kerámiák tribológiai jellemzése e cikk II. részében, a [8] munkában található.

2. KÍSÉRLETI MUNKA

2.1. Vizsgálati anyagok

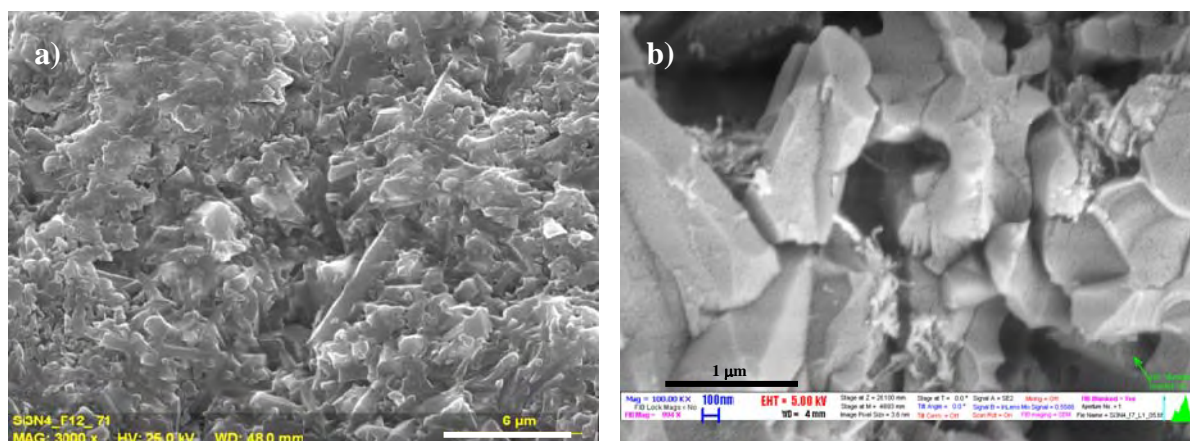
A vizsgálati darabok monolitikus és többfalú karbon nanocsővel adalékolt Si_3N_4 kerámiák, amelyeket az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézetének Kerámiák és Nanokompozitok Osztálya készített. Összetételi, geometriai és gyártási jellemzőiket az

1. táblázat, mikroszerkezetüket az

1. ábra tünteti fel. Fontos megjegyezni, hogy a karbon nanocső adalékolás hatása az anyagszerkezetre és ezáltal a végső tulajdonságokra a II. fázis mennyiségén és minőségén túlmenően jelentősen függ annak diszperzitásától [9]. A nanocsövek összetapadása a szinterelődést akadályozza és növeli a minták porozitását [10].

Minta típusa	Alapanyag összetétele, tf%			Adalék, tf%	Sűrűség, Mg/m^3	Geo-metria	Méretek, mm	Gyártás-technológia
	Si_3N_4	Al_2O_3	Y_2O_3					
Monolitikus	90	4	6	—	3,372			
CNT erősítésű	90	4	6	3	3,305	Hajlító-próbatest EN 843-1	4,9x3,2x49,1	Kétlépcsős gáznyomásos szinterelés, $T=1700^\circ\text{C}$; $t=3$ h; $p=20$ MPa

1. táblázat. A vizsgált Si_3N_4 kerámia minták gyártási jellemzői



1. ábra. a) Monolitikus Si_3N_4 tús szerkezete; b) Azonos mátrixban karbon-nanocső II. fázis

2.2. Vizsgálati módszerek és eredmények

A vizsgálati eljárásokat és az alkalmazott berendezések típusát, a 2. táblázat foglalja össze.

Vizsgálat típusa	A meghatározott jellemző	Alkalmazott berendezés	A mérés szabványa, jellemzője
Statikus	3 pontos hajlítószilárdság, R_{3p}	Instron Model 1112	ENV-843-6
	4 pontos hajlítószilárdság, R_{4p}		
	Young modulus, E	Mitutoyo, MicroHV kem. mérő, Zeiss Axio Imager opt. mikroszkóp	F=10 N F=100 és 300 N
	Mikrokeménység, HVM1000		
Dinamikus	K_c törési szívósság	Ceast/15/25 Müszerezett ütővizsgáló, elektro-emissziós érzékelővel	ISO/TC 164/SC 4/N191 fémes szabvány szerint
	Törési szilárdság		
	Törési idő		
Frakto-gráfia	Ütőmunka	Pásztázó elektronmikroszkópok: JEOL-2, ill. TESLA BS340	ASTM C 1322-05b CEN ENV 843-6:200x
	Mikroszerkezet		
	Károsodási mechanizmus		
	K_{Id} törési szívósság		

2. táblázat. Az elvégzett vizsgálatok típusa, berendezései

2.2.1. Kvázistatikus vizsgálatok

A kvázistatikus vizsgálatokkal meghatározott anyagjellemzők átlagos értékeit a 3. táblázat tünteti föl.

Próba típusa	E GPa	$R_{h,3}$ [MPa]	R_{h4} [MPa]	HVM 1000	K_c , MPa m ^{1/2} (F=300 N)			
					NMH	NMH+H	SWMC	L
MONO	216,1	775,4	552,4	1522	6,61	9,06	8,09	5,79
CNT	257,6	1069,4	527,3	1223,4	6,75	9,26	7,12	6,82

3. táblázat. A monolitikus és CNT erősítésű Si₃N₄ kerámiák kvázistatikus anyagjellemzői

Vizsgálati tapasztalatok és a 3. táblázat eredményei alapján tehető megállapítások:

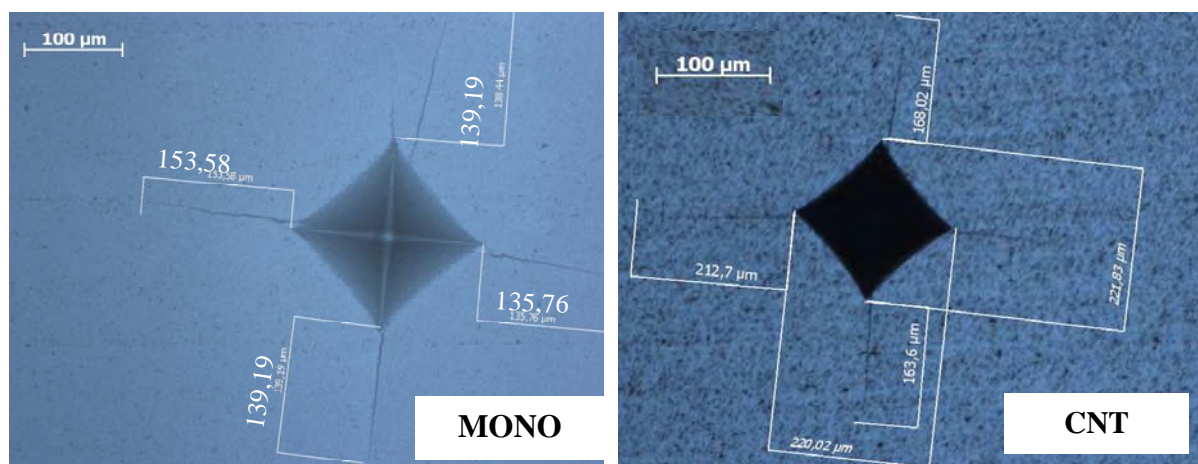
A rugalmassági modulus értéke közel 20%-os növekedést mutatott a CNT erősítésű próbatesteken. A mérőszám növekedése nem nevezhető jellemzőnek, és eltér a gyártó által korábban publikált [10] eredményektől, mert a korábbi gyártási adagok vizsgálata a rugalmassági modulus csökkenését mutatta. A változás hátterében véleményem szerint mindenképpen az anyagszerkezet kedvező változása áll, ami azért reális feltételezés, mivel a CNT II. fázis adagolása az alapanyaghoz nemcsak a kompozitoknál szokásos módon, vagyis az ún. keverési szabály szerint módosítja a tulajdonságokat, hanem szintereléskor jelentős szerkezetváltozásokhoz is vezethet. A kialakuló szövetszerkezetet számottevően befolyásolja a nanocsövek diszperzitása, mennyisége, mérete, és típusa, valamint a gyártástechnológiai paraméterek. Ezért minden gyártási adag, amelynek előállításakor bármilyen technológiai változtatás történik, egyedi tulajdonságokkal fog rendelkezni.

Szintén sajátos viselkedést mutat a két anyag a hajlítószilárdságok tekintetében. Egyrészt az igénybevétel jellegének megfelelően a négyponthas hajlítószilárdsági értékek mindkét próbánál kisebbre adódtak, mint a háromponthas hajlítószilárdság értékei. Ugyanakkor a karbon nanocső adalékolás hatására a kétféle szilárdsági mérőszám ellentétesen változott. A Ennek értékelésekor figyelembe kell vennünk, hogy a terhelési viszonyok eltérése – azaz a négyponthas hajlítás esetében jóval nagyobb térfogatban ható csúcsterhelés – miatt ezen adatok tekinthetők megbízhatóbbnak, ezért az anyagok viselkedésének jellemzésekor a négyponthas szilárdság kismértékű csökkenése tekinthető jellemzőnek. Fontos megjegyezni, hogy a rendkívül drága próbatestekből mindössze két-két próba állt rendelkezésre ezeknél a méréseknél, tehát a mérés megbízhatósága nem kielégítő, de az eredmények nagymértékű szórását a kerámiák szilárdsági jellemzőinek jól ismert statisztikus természete is okozhatja.

A mikrokeménység eredmények az irodalomban publikált és az ilyen kerámiákra jellemző átlagos keménységértékeket mutatták, azaz monolitikus kerámiákon 1522 HVM1000 értékek adódtak, míg a CNT-s próbák keménysége 20%-kal kisebb: 1223 HVM1000 volt. A CNT fázis adalékolása, különösen, ha az erősítőfázis agglomerátumokat képez a Si_3N_4 szemcsék határán, a szemcsehatárok közti kötések gyengítésével a keménység csökkenését okozza. A mikrokeménység értékek nagyszámú mérés (5 monolitikus és 6 CNT-adalékolású próbán, próbatestenként 3-3 mérés) átlagai, amelyekre igen kicsiny 3,5% és 3,1 % variancia együtthatók adódtak a monolitikus és kompozit próbák esetén.

A Vickers lenyomatos (statikus) törési szívósság értékek meghatározásához 5 db monolitikus, és 6 db CNT erősítésű Si_3N_4 próbatesten $F=100\text{ N}$, illetve 300 N terhelőerővel $t = 15\text{ sec}$ terhelési idővel készítettünk Vickers lenyomatokat, próbatestenként 2-2 db-ot az egyes terhelésekkel. A 2. mutatja a jellemző lenyomatokat és az ún. Palmquist repedéshosszakat (l), amelyek ismeretében a K_{IC} törési szívósság 3. táblázatban közölt értékei

a 4. táblázatban megadott összefüggések segítségével számíthatók (ahol „ a ” a lenyomat fél átlója). A különböző összefüggésekkel, és terhelőerővel kapott K_{IC} értékeket a 3. ábra szemlélteti, amely alapján számos következtetés vonható le.



2. ábra. Vickers lenyomatok és a csúcsaikból kiinduló repedés statikus törési szívósság meghatározásához; a) monolitikus; b) CNT erősítésű Si_3N_4 -felületén

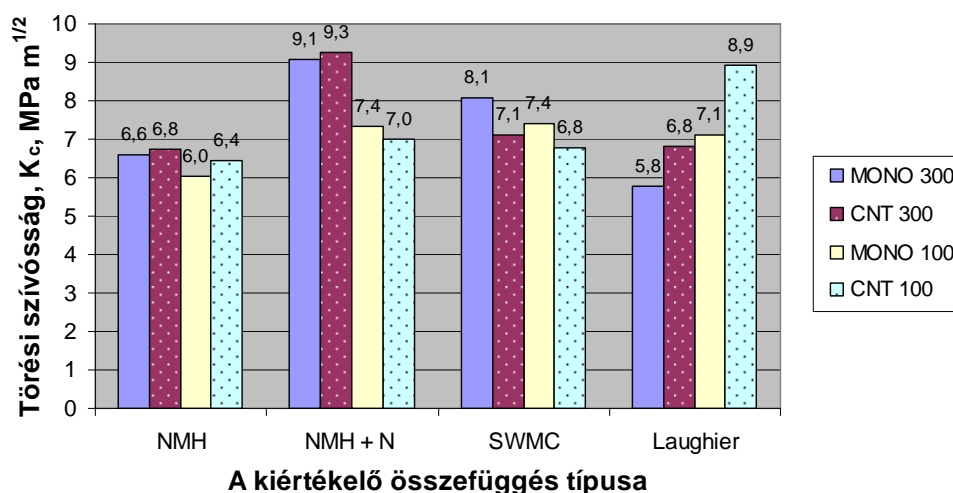
Egyenlet megnevezése	Jele	Forrása	Az empirikus összefüggés
Niihara-Morena-Hasselmann	NMH	[11]	$K_{\text{IC}} = 0,0089(E/H_v)^{2/5} F/(al^{1/2})$ ha $0,25 < l/a < 2,5$
Niihara	N	[12]	$K_{\text{IC}} = 0,0122(E/H_v)^{2/5} F/(al^{1/2})$ ha $1 < l/a < 2,5$
Shetty-Wright-Mincer-Clauer	SWMC	[13]	$K_{\text{IC}} = 0,0319 F/(al^{1/2})$
Laugier	L	[14]	$K_{\text{IC}} = 0,0143(E/H_v)^{2/3} (a/l)^{1/2} (F/c^{3/2})$

4. táblázat A K_{IC} törési szívósság meghatározásához használt empirikus összefüggések

A K_{IC} értékei monolitikus próbáknál $5,8\text{--}9,06\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ míg a CNT-s próbáknál a $6,4\text{--}9,3\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ tartományba estek. Nagyságrendileg ezek az eredmények összhangban vannak az irodalomban mások által publikált szívóssági értékekkel, pl. a [15] munka hasonló összetételű és gyártástechnológiájú monolitikus kerámiára $5,6\text{--}8,4\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ közötti, míg a CNT-s

kompozitra 5,6-8,9 MPa m^{1/2} közötti törési szívósság értékekről számol be.

Az eredmények egyértelműen mutatják, hogy a különféle összefüggések különböző módon veszik figyelembe az anyagi viselkedés (E/HV) eltéréseit, a mért repedésméret értékét, és ezáltal a CNT adalék szívósság fokozó hatását, továbbá az egyes összefüggések a terhelőerő változására sem egyformán érzékenyek. Ennek részletes elemzése a cikk kereteit meghaladja. A kétféle terhelőerővel végzett vizsgálatok közül azonban a mérési eredmények variancia együtthatói alapján (F=100 N esetén 5-10%) míg F=300 N esetén 1,8-5%) a nagyobb terhelőerővel meghatározott törési szívósság értékek tekinthetők mérvadónak.



3. ábra. A Vickers lenyomatos törési szívósság értékei monolitikus és CNT erősítésű Si₃N₄ kerámiákra kétféle (F=300 N és 100 N) terhelőerővel végzett vizsgálatok esetén

A törési szívósság értékét befolyásoló tényezők elemzése, valamint a bemutatott K_c eredmények alapján a vizsgált anyagok jellemzésére a Laugier képlet javasolható F=300N-os terhelés mellett, ahogyan arra a [16] munka is utal. Mindezek alapján megállapítható, hogy az adott CNT erősítés jelentősen, közel 30%-kal növelte a statikus törési szívósságot.

2.2.2. Dinamikus terheléskor mért jellemzők

A dinamikus terhelés közben mérhető anyagi mérőszámokat (ld.

5. táblázat) műszerezett ütésvizsgálattal határoztuk meg. Monolitikus Si₃N₄ kerámiákon végzett hasonló vizsgálatok tapasztalatait hasznosítva, a törési idő mérésére elektro-emissziós mérés technikát alkalmaztunk [17], a K_{Id} dinamikus törési szívósság meghatározására pedig korábbi eredményeinkre [3, 4] támaszkodva az ún. fraktográfiai módszert választottuk. Ennek előnye, hogy nem igényli költséges törésmechanikai próbatestek készítését.

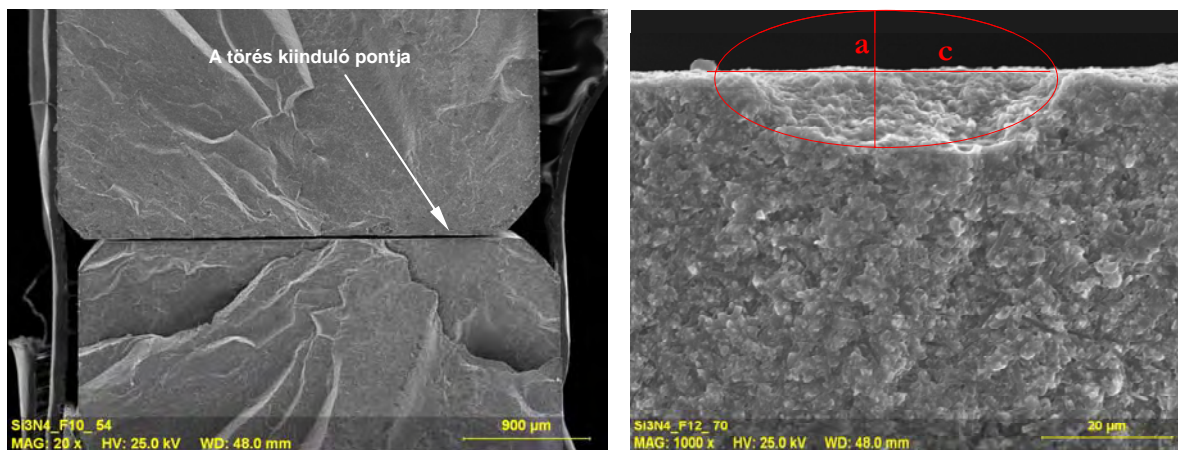
Próba típusa	Terh. seb. m/s	Ütési energia, W, J	F _{max} , N	Törési szilárd-ság,	Din. törési szívósság, K _{Id} , MPa·m ^{1/2}	Törési idő, t _f , μs
MONO	0,78	0,052	540	414,7	1,71	267
	2,88	0,064	540	420,5	1,85	70
CNT	0,78	0,050	470	360,0	1,12	304
	2,88	0,051	430	343,0	1,26	65

5. táblázat. A monolitikus és CNT erősítésű Si₃N₄ kerámiák dinamikus terheléskor mért jellemzői

A CNT adalék hatása a dinamikus viselkedésre röviden az alábbiakban összegezhető:

Azonos vizsgálati sebesség esetén az adalék nem befolyásolta a W ütési energia és a t_F törési idő értékét. Az instabil repedésterjedést kiváltó F_{max} erő, és ezzel a törési szilárdság kismértékben – 7, illetve 13%-kal – csökkent. Ez összhangban van a statikus mérési eredményekkel, ahol a négyponthoz hajlítószilárdság értéke a nanocsöves kerámiák esetében 5%-kal kisebbre adódott. A K_{Id} meghatározása sajnos mindössze a vizsgált esetek 25-50%-ában volt eredményes. Ennek oka, hogy a vizsgált próbatestek mind a monolitikus, de különösen a CNT-vel erősített kerámiák esetében a korábbiaktól eltérő jellegű, többszörös repedésindulást és ebből következően szilánkos törést mutattak. Emiatt a fraktográfiai módszer alkalmazása, a törés kiindulópontjának azonosítása, és ezáltal a $K_{Id} = \sigma_f \cdot Y \cdot a^{1/2}$ összefüggésben szereplő „Y” hibaalak tényező, valamint „a” hibaméret [18] értékének meghatározása (lásd

4. ábra) csak az esetek kisebb hányadában volt lehetséges, tehát az adott esetben nem gazdaságos és megbízhatósága sem kielégítő. A rendelkezésre álló eredmények birtokában összességében elmondható, hogy a CNT adalék alkalmazásával jelentősen, 30%-kal romlott a kompozit dinamikus törési szívóssága a monolitikus mintákéhoz képest.



4. ábra. A törés kiindulópontjának azonosítása és geometriai jellemzése

3. ÖSSZEGZÉS, KÖVETKEZTETÉSEK

A komplex vizsgálati tapasztalatok alapján megállapítható, hogy többfalú karbon-nanocső második fázis adalékolása a vizsgált szilícium-nitrid kerámiákhoz a keménység és szilárdság kismértékű csökkenése mellett javította a rugalmassági modulus és a statikus törési szívósság értékét, míg a dinamikus törési szilárdság kisebb, a dinamikus törési szívósság pedig jelentős mértékben csökkent.

A vizsgált anyagok felhasználása olyan formában lehet a legeredményesebb, ahol a legfontosabb tulajdonság a kerámia kedvező statikus törési szívóssága, és előnyt jelent a CNT biztosította elektromos vezetőképesség. Ilyenek például a szikraforgácsolással megmunkált különleges élgeometriájú forgácsoló lapkák, ahol a kopási tulajdonságok szintén fontos szerepet játszanak. A vonatkozó tribológiai kísérletek kezdeti tapasztalatairól a bevezetőben már említett [8] munka számol be.

4. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **MAROS, B. M., KUZSELLA, L., KONCSIK, ZS.:** Experiences on pin-on-disc wear test and another mechanical tests of Si_3N_4 C-nanocomposites, Doktoranduszok Fóruma, Gépészmérnöki és Informatikai Kar szekciókiadványa, Miskolci Egyetem Innovációs és Technológia Transzfer Centruma, 2008. pp 64-71
- [2] **KONCSIK, ZS., MAROS, B. M., KUZSELLA, L.:** Mechanical testing of $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiC}$ /graphite ceramic composites, 2010. Materials Science Forum, Trans Tech Publications, Switzerland
- [3] **MAROS, B.M., KAULICS, N., ARATÓ, P.,** in: Fractography of Glasses and Ceramics V., Ceramic transactions, Vol. 199. Ed: Varner, J. R., Quinn, G. D., Wightman, M., ISBN 978-0-470-09737-3, 2007, pp. 421-433.
- [4] **MAROS, B.M., KAULICS, N., DUSZA, J.:** in: Fractography of Glasses and Ceramics V., Ceramic transactions, Vol. 199. Ed: Varner, J. R., Quinn, G. D., Wightman, M., ISBN 978-0-470-09737-3, 2007, pp. 435-453.
- [5] **MAROS, B. M., KUZSELLA, L., KONCSIK, ZS.:** Experiences on pin-on-disc wear test of $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{C}$ -nanocomposites, MicroCAD 2007 International Scientific Conference 2007, Section D, Miskolci Egyetem ITTC, ISBN 978-963-661-742-5, p37-44
- [6] **ZS. KONCSIK; M. B. MAROS; L. KUZSELLA:** Tribological behaviour of C-derived Si_3N_4 nanocomposites, Mat. Sci. For. Vol. 589. ISBN 0-87849-371-9, Trans Tech Publications, pp:403-408. 2008.
- [7] **ZS. KONCSIK; M. B. MAROS; L. KUZSELLA:** Tribological Investigation of Si_3N_4 composites; Friction, Wear and Wear Protection, ISBN 978-3-527-32366-1, Wiley-VCH, pp: 393-401. 2009
- [8] **KONCSIK, ZS.:** Si_3N_4 kerámiák mechanikai viselkedése II., Tribológiai Jellemzés, Műszaki tudomány az Észak-Alföldi Régióban 2010 Tudományos Konferencia Kiadványa, illetve Elektronikus Műszaki Füzetek, HU ISSN 2060-7954, Szerk: prof. Dr. Pokorádi, L., MTA DAB Műszaki szakbizottsága, Debrecen 2010, (megjelenés alatt)
- [9] **BALÁZSI, CS., WEBER, F., KOVER, ZS., SHEN, Z., KONYA, Z., KASZTOVSZKY, ZS., VERTESY, Z., ARATO, P.** Application of carbon nanotubes to silicon nitride matrix reinforcements, Current Applied Physics 6 (2), 2006, pp. 124-130
- [10] **CS. BALÁZSI; B. FÉNYI; N. HEGMAN; ZS. KÖVÉR; F. WÉBER; Z. VÉRTESY; Z. KÓNYA; I. KIRICSI; L. P. BIRÓ; P. ARATÓ:** Development of CNT/ Si_3N_4 composites with improved mechanical and electrical properties; Composites Part B 37, 2006. 418-424.
- [11] **K. NIIHARA; R. MORENA; D. P. H. HASSELMAN:** J. Mater. Sci.Lett.; 1982. 1. 13-16.
- [12] **K. NIIHARA:** J. Mater. Sci. Lett., 1983. 2. 221-223
- [13] **D. K. SHETTY, I. G. WRIGHT, P. N. MINCER, A. H. CLAUER:** J. Mater.Sci., 1985. 20. pp1873-1882.
- [14] **M. T. LAUGIER:** J. Mater. Sci. Lett., 1987, 6, 355-356.
- [15] **SHIKIMAKA, O., GRABCO, D., BALÁZSI, K, DANITSA, Z., MIRGORODSCAIA, IA., BALÁZSI, CS.:** Influence of Microstructure on Mechanical response of Silicon Nitride ceramic composites in Nano-, Micro- and Macro-volume of Material, Key engineering materials, Vol. 409 (2009) pp.346-349
- [17] **MAROSNÉ B. M., KAULICS N., LENKEYNÉ B. GY., ARATÓ P.:** SiAlON kerámiák mechanikai viselkedésének jellemzése műszerezett ütvizsgálattal, Anyagvizsgálók Lapja 14. Évf. 4. Szám, 2004. p114-119.
- [18] Standard Practice for Fractography and Characterization of Fracture Origins in Advanced Ceramics, ASTM C 1322-05b. Am. Soc. for Test. and Mats., Philadelphia, 2005.

Si₃N₄ KERÁMIÁK MECHANIKAI VISELKEDÉSE II. TRIBOLÓGIAI JELLEMZÉS

MECHANICAL CHARACTERISATION OF Si₃N₄ CERAMICS II. TRIBOLOGICAL CHARACTERISATION

KONCSIK Zsuzsanna

egyetemi tanársegéd
Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék
metkzs@uni-miskolc.hu,

Kivonat: Jelen cikk célkitűzése az anyagtechnológiai fejlesztések eredményeként megjelent legújabb szerkezeti kerámiák néhány képviselőjének — monolitikus, karbon-nanocsővel, és grafit adalékkal erősített szilícium-nitrid kerámiák — tribológiai tulajdonságainak jellemzése. Az elvégzett vizsgálatok kiterjedtek mindhárom kerámia esetén pin-on-disc kopásvizsgálatokra, a súrlódási együttható és a kopási mechanizmus jellemzésére.

Kulcsszavak: szilícium-nitrid, kerámia kompozitok, erősítő fázis: SiC, C, CNT, pin-on-disc kopásvizsgálat.

Abstract: The basic aim of the current paper is to analyse the tribological characteristics of various newly developed structural ceramics, i.e. monolithic, as well as carbon nanotube reinforced and graphite added silicon nitride. The investigations covered to pin-on-disc wear tests, the analysis of the friction coefficient and the controlling wear mechanism.

Keywords: silicon-nitride, ceramic composites, reinforcing phase: SiC, C, CNT, pin-on-disc wear test.

1. BEVEZETÉS

Kerámia mátrixú kompozitokat egyre szélesebb körben használnak kopásnak kitett alkalmazásokban. Az új anyagtechnológiai fejlesztések eredményeként létrejövő kerámia kompozitok tribológiai viselkedésének vizsgálata éppen ezért napjaink egyik fontos, meghatározó kutatási területe.

A cikk fő témája új fejlesztésű Si₃N₄/SiC/grafit, illetve eltérő gyártástechnológiával készített monolitikus és szén-nanocsővekkel (a továbbiakban CNT) erősített Si₃N₄ kerámia kompozitok tribológiai viselkedésének vizsgálata. A kutatások fő célja volt a tribológiai jellemzők (kopási tényező, kopási mechanizmus, súrlódási együttható) vizsgálata.

Ugyanezen kerámiák mechanikai viselkedésének széleskörű jellemzése érdekében korábbi kutatások során meghatároztuk a microVickers keménység, a Vickers-lenyomatos törési szívósság értékeit [1, 2], illetve esetenként a három-és négyponos hajlítószilárdság, valamint a Young-modulus értékét [3]. A [4, 5, 6] munkák hasonló kerámiák dinamikus ütővizsgálatáról és a vizsgálati módszer segítségével nyerhető információkról számolnak be.

2. KÍSÉRLETI MUNKA

2.1. Vizsgálati próbatestek

A kísérleti anyagokat egyrészt a pozsonyi Szlovák Tudományos Akadémia Szervetlen Kémiai Intézete gyártotta — lásd G1-G6 jelű minták az 1. táblázatban, (ø = 47 mm átmérőjű, h = 3 mm magasságú tárcsa alakú próbatestek) —; másrészt a budapesti Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet Kerámiák és Nanokompozitok Osztálya készítette — lásd MONO és CNT jelű minták az 1. táblázatban (EN 843-1 szerinti, négyszög szelvényű hajlító

próbatestek: 4,9mm × 3,2mm × 49,1mm).

Próba	Si ₃ N ₄ * [tf%]	Y ₂ O ₃ [tf%]	Al ₂ O ₃ [tf%]	Másodlagos fázis			Sűrűség [g/cm ³]	Gyártó	Gyártás- technológia
				Típusa	Mennyi- ség [tf%]	Szemcse- mérete [μm]			
G1	93,1	4,9	-	grafit	2	< 25	3,246	Szlovák Tudományos Akadémia, Szervetlen Kémiai Intézet, Pozsony	Meleg sajtolás, T=1750 °C, p=30 MPa, p=0,2 bar nitrogén túlnyomás
G2	90,3	4,7	-	grafit	5	< 25	3,239		
G3	85,5	4,5	-	grafit	10	< 25	2,494		
G4	85,5	4,5	-	grafit	10	< 71	2,822		
G5	85,5	4,5	-	grafit	10	< 125	3,141		
G6	85,5	4,5	-	grafit	10	>125	3,090		
MONO	90	6	4	-	-	-	3,372	MTA, MFAKI, Budapest	Két lépéses gáznyomásos szinterelés, T=1700 °C t=3 h; p=20 MPa
CNT	90	6	4	MWCNT	3	-	3,305		

1. táblázat. A vizsgált Si₃N₄ kerámia kompozitok összetétele, sűrűsége és gyártási módja

A G1-G6 minták esetében a szinterelés során a grafit részecskék, a szinterelési adalék és az alapanyag között lejátszódott kémiai reakciók számos új fázis kialakulását tették lehetővé. Röntgendiffrakciós vizsgálatok alapján megállapíthatjuk, hogy a β-Si₃N₄ alapmátrix mellett többek között intra- és intergranuláris SiC szemcsék képződtek, illetve különféle oxidok, oxinitridek és karbo-nitridek keletkeztek, továbbá reakcióba nem lépett grafit fázis maradt vissza a mátrixban. Ezzel a gyártási eljárással tehát in-situ módon erősített Si₃N₄ alapú kerámia kompozit készíthető.

A töretfelületek mikroszkópos tanulmányozásakor a β-Si₃N₄ szemcsék között rétegesen elhelyezkedő grafit agglomerátumok voltak láthatók. Ezen agglomerátumok kiterjedése változó méretű. Az összetapadt grafit agglomerátumok nagysága a legkisebb kiinduló szemcseméretű grafitot tartalmazó minta (G1) és a leghomogénebb eloszlás esetén 1-5 μm kiterjedésű, míg a leginkább inhomogén és nagy kiinduló grafit szemcseméretű minták (G5, G6) esetében elérheti a 100-200 μm-t is. A minták inhomogenitásának elemzését és mechanikai tulajdonságra gyakorolt hatását egy korábbi publikáció [1] tartalmazza. A továbbiakban bemutatásra kerülő mechanikai vizsgálatokat a próbatestek leghomogénebb területein végeztük el.

A MONO és a CNT jelű minták esetében a röntgendiffrakciós elemzés kimutatta az α és β-Si₃N₄ jelenlétét a mátrixban. A töretfelületről készített pásztázó elektronmikroszkópi felvételek pedig a viszonylag nagy kiterjedésű, néhány μm hosszúságú β-Si₃N₄ szemcsék felületén egyenletes eloszlású CNT fázis jelenlétét bizonyítják. Megfelelő diszpergálás mellett 20 MPa szinterelési nyomás és a 3 órás szinterelési időtartam alkalmazásakor a szén-nanocsövek nem tapadtak össze nanométeres, vagy mikrométeres kiterjedésű szigetekké, hanem homogénen elrendeződtek a mátrixban. A CNT másodlagos fázist tartalmazó minta porozitása a monolitikus mintához képest nagyobb [7].

A próbatesteket gyémánt pasztával 1 μm végső érdességig polírozták. A minták jellemző érdességi adatait a 2. táblázat tartalmazza, ahol R_z az 5 legmagasabb és az 5 legmélyebb pont átlaga, R_a az átlagos érdesség illetve a P mélység az adott, %-ban kifejezett t_p hordozóhossz távolságának értéke a legmagasabb csúcstól mérve.

Minta	R _z , μm		R _a , μm		P, μm [ha t _p =50%]		P, μm [ha t _p =95%]	
	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás
G1	0,863	0,069	0,125	0,010	0,538	0,101	1,033	0,172
G2	0,836	0,070	0,121	0,005	2,337	1,122	3,438	1,624
G3	1,383	0,124	0,190	0,041	1,643	0,256	2,628	0,326
G4	1,182	0,225	0,155	0,019	0,908	0,440	1,622	0,446
G5	1,722	0,327	0,193	0,045	1,848	0,461	3,347	1,189
G6	2,717	0,457	0,439	0,070	1,583	0,567	3,907	0,691

2. táblázat. Az érdesség és hordozóhossz mélység jellemző értékei

2.2. Vizsgálati módszerek

A tribológiai vizsgálatokat nagy hőmérsékletű CSM THT-S-AX-0000 pin-on-disc tribometer [8, 9] segítségével végeztük, a Miskolci Egyetem Polimermérnöki Tanszékén. A vizsgálatok során 6 mm átmérőjű SiC golyó szolgált ellentestként, a terhelőerő 5, 10 és 15 N volt, a csúszási úthossz 100 m, a kopásnyom sugara 1,2 mm, a kerületi sebesség 0,01 m/s. A méréseket ~50%-os relatív páratartalmú, szobahőmérsékletű levegőn, kenőanyag alkalmazása nélkül, a DIN 50324 szabvány előírásainak megfelelően végeztük [9]. Minden vizsgálati beállításnál 3-3 mérést terveztünk, amelyek közül eddig az 5N terhelőerővel végzett kísérletsorozat készült el teljesen. A 10 és 15N terhelőerő alkalmazásával végzett kísérletekből egyelőre a G1-G6 minták esetében próbatestenként 1-1 mérési eredmény áll rendelkezésünkre.

A k , kopási tényező értékének kiszámítása a szabványban is [8, 9] rögzített összefüggés alapján, a következő egyenlettel történt:

$$k = \frac{V_w}{L \cdot F_N} \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{Nm}} \right], [\text{mm}^3 / \text{Nm}] \quad (1)$$

Ahol:

V_w – a kikopott térfogat [mm^3];

L – a teljes csúszási úthossz [m];

F_N – az alkalmazott normálirányú terhelőerő [N].

2.3. Vizsgálati eredmények

A tribológiai vizsgálatok legfontosabb eredményeit, azaz a kopási tényező, a súrlódási együttható számszerű értékeit, továbbá az egyes terhelőerők alkalmazásakor uralkodó kopási mechanizmusok elemzését részben már [1, 2] publikáltuk.

A tribológiai eredmények értékelésével számos információhoz juthatunk. A pin-on-disc kopásvizsgálatokat követően a kopásnyomok profilelemzése révén határozhatjuk meg a

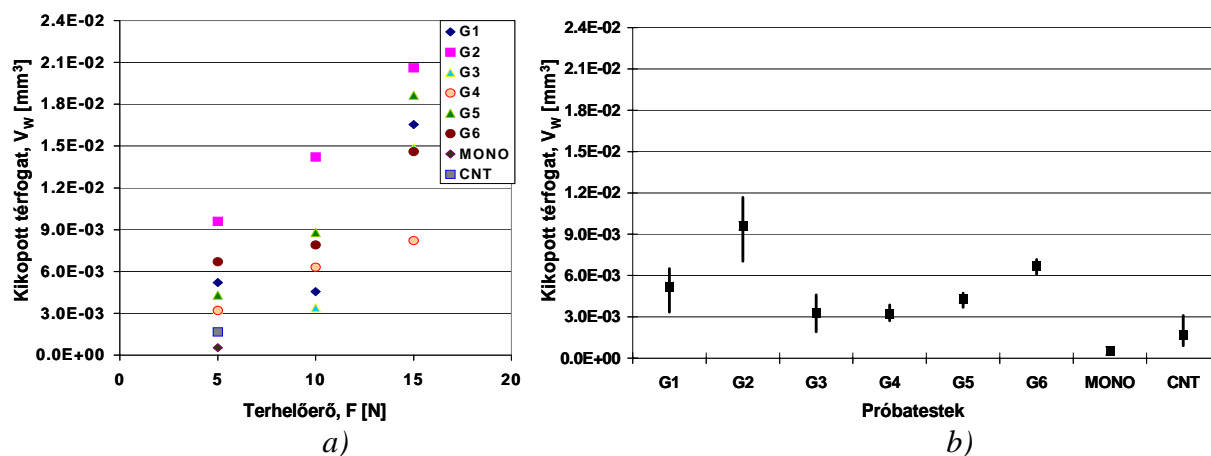
kikopott térfogat értékét. Az

1. ábra eredményei alapján a G1-G6 minták esetében a terhelőerő 5N-ről 10N-ra növelése általában kisebb változást jelentett a kopási folyamatban, mint a 10N-ről 15N-ra történő növelés. Ez utóbbi esetben jelentősen növekedett a kopásnyom szélessége és egyidejűleg a kikopott térfogat is, ahogy ez az

1. ábra a) részletén is látható.

5 N terhelőerő alkalmazása esetén a legkisebb kikopott térfogatot az adott módon gyártott monolitikus próbatesten mértük, ahogyan ezt az

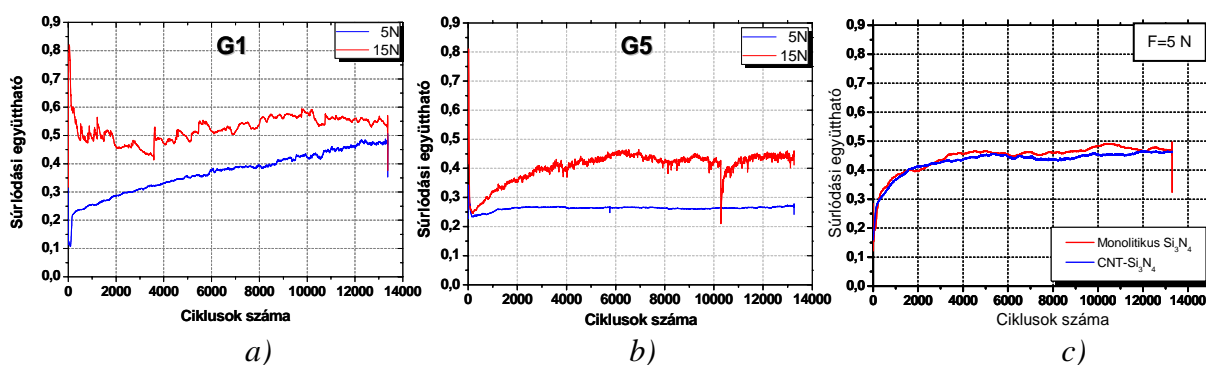
1. ábra b) ábrarészlete illusztrálja, kissé nagyobb volt a CNT tartalmú minta kikopott térfogata és jóval gyengébb kopási viselkedést jeleznek a grafit adalékot tartalmazó (eltérő módon szinterelt) minták.



1. ábra. a) A kikopott térfogat nagysága a terhelőerő függvényében;
b) A kikopott térfogat átlagértékei a szórásszövevel 5 N terhelőerő esetén

A tribológiai mérések során online módon rögzítjük a **súrlódási együttható diagramokat**, amelyek alapján a következő megállapítások tehetők: A vizsgált esetek többségében a súrlódási együttható értéke közel állandóvá vált, amint az a 2. ábrán látható. Az összes vizsgálati esetet figyelembe véve a súrlódási együttható értékek 0,26 – 0,58 közötti intervallumban változtak. Általánosan megállapítható, hogy a kisebb kopási tényező értékéhez kisebb súrlódási együttható érték tartozott.

5N terhelőerő alkalmazásakor a monolitikus és a CNT tartalmú minták súrlódási együtthatója nem tér el szignifikánsan, ahogyan ezt a 2. ábra c) ábrarészlete is illusztrálja.

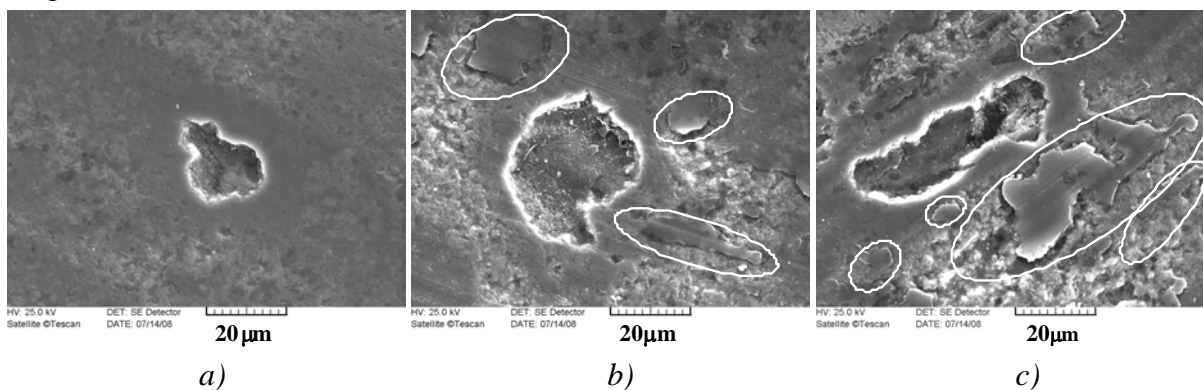


2. ábra. a) A G1 minta súrlódási együttható diagramjai 5 és 15 N terhelőerő alkalmazása esetén;
b) A G5 minta súrlódási együttható diagramjai 5 és 15 N terhelőerő alkalmazása esetén;
c) Monolitikus és CNT próbák súrlódási együttható diagramjai 5 N terhelőerő alkalmazása esetén

Összegezve a kopásvizsgálatok számszerű eredményeit megállapíthatjuk, hogy a Si₃N₄ kerámia kompozitok tribológiai tulajdonságai másodlagos fázis adalékolásával módosíthatók. A legkisebb terhelőerőnél mért kikopott térfogat értékek a monolitikus kerámiánál adódtak a legalacsonyabbra. A kikopott térfogat növekedésének oka lehet a kompozitok esetében a másodlagos fázisnak a szintereléskor érvényesülő mikroszerkezet-módosító hatása, illetve

karbon nanocső adalékolás esetén az előidézett porozitás-növekedés. A grafit másodlagos fázist tartalmazó kompozitok esetében a grafit szilárd kenőanyagként viselkedett a tribológiai igénybevétel során, csökkentve a súrlódási együttható értékét, amelyeket számszerűen az [1] publikáció ismeretét. Feltehetően a szén-nanocsövek is betöltik a szilárd kenőanyag funkcióját, de az adott mennyiségben és módon adalékolat C-nanocső fázis az $F=5\text{ N}$ terhelőerővel végzett vizsgálatok során nem okozott mérhető, ilyen irányú változást. A grafit fázis mennyiségének a kopási tulajdonságra gyakorolt hatása a rendelkezésre álló mérési eredmények alapján még nem állapítható meg egyértelműen. A jelenlegi mérési eredmények azt bizonyítják, hogy a grafit adalék szemcseméretének finomodásával javulnak a kopási tulajdonságok [2].

A tribológiai viselkedés további jellemzése a **kopási mechanizmusok** [8, 10, 11, 12] feltérképezésével lehetséges, amely a kopásnyomok pásztázó elektronmikroszkópos felvételeinek elemzése révén történik. Ilyen vizsgálatok eddig a grafit adalékolású (G1-G6 jelű) mintáknál történtek. Megvizsgáltuk a kopásnyomokat, a különböző terhelőerőknél fellépő károsodási folyamat elemzése érdekében. 5 N terhelőerővel végzett vizsgálat esetén kopási törmelék, kitöredezések, üregek maradtak vissza a kopásnyomban (ld. 3. ábra), ami ridegtöréssel lejártszódó károsodási folyamat dominanciájára, abrazív kopásra utal. Nagyobb terhelőerők (10 és 15 N) alkalmazása esetén képlékeny alakváltozás és tribo-oxidáció volt a jellemző kopási mechanizmus. Képlékenyen alakváltozott felületi réteget mutatnak a 3. ábra b) és c) részletei. Ez a réteg Y_2O_3 szinterelési adalékot és a kopási folyamat során keletkezett SiO_2 réteget tartalmaz, amit SEM segítségével végzett elemzés is igazolt. A fehér körökkel jelölt területen például Si és O jelenlétét mutatta ki. Feltételeztük, hogy a Si_3N_4 alapanyag a levegő oxigénjével reakcióba lép és SiO_2 -t képez a kopási folyamat során. Az üvegfázis képlékeny alakváltozását a súrlódási folyamat révén fellépő magas hőmérséklet, illetve a nagy helyi nyomás is fokozza. Ezen feltételezések a szakirodalomban [13] is megtalálhatók.



3. ábra. Üregek a kopásnyomban a grafit kitöredezése miatt a G4 mintában;
a) $F=5\text{ N}$; b) $F=10\text{ N}$ c) $F=15\text{ N}$.

A b) és c) ábrarészleteken feltételezett SiO_2 réteg és megfolyt üvegfázis található a fehér körökkel jelölt területeken

3. ÖSSZEGZÉS, KÖVETKEZTETÉSEK

Tribológiai vizsgálatokat végeztünk azonos mátrixanyagú és előállítású monolitikus és CNT erősítésű szilícium-nitrid, valamint eltérő módon gyártott $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiC}$ /grafit kerámia kompozitokon.

A tribológiai vizsgálatok eddigi eredményei alapján az alapmátrixhoz adalékolat grafit mennyiségének hatása a kikopott térfogatra nem ítéltető meg, míg szemcseméretének

finomodása kedvezőbb tribológiai tulajdonságokat eredményez. Ezen minták reakcióba nem lépett grafit agglomerátumai szilárd kenőanyagként szolgáltak a kopási folyamat során

A tribológiai vizsgálatok során az alkalmazott legkisebb terhelőerő, $F=5$ N esetén ridegtörés által kontrollált kopási mechanizmust, azon belül abrazív kopástípust figyeltünk meg, mint uralkodó károsodási folyamatot. A terhelőerő növelésével más domináns kopási mechanizmusok jelentek meg, $F=10$ és 15 N esetén képlékeny alakváltozás által kontrollált mechanizmus, azon belül adhéziós kopástípus volt jellemző.

A kísérleti munka következő fázisa a $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiC}$ /grafit, illetve CNT erősítésű Si_3N_4 kerámia kompozitok kopási mechanizmusainak további tanulmányozására, és számszerű becslésére irányul, összefüggést keresve a tribológiai és más mechanikai tulajdonságok (keménység, törési szívósság, rugalmassági modulus), illetve mikroszerkezeti sajátosságok és az érintkező felületek tulajdonságai között.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ZS. KONCSIK; M. B. MAROS; L. KUZSELLA:** Tribological Investigation of Si_3N_4 composites; Friction, Wear and Wear Protection, ISBN 978-3-527-32366-1, Wiley-VCH, pp: 393-401. 2009.
- [2] **ZS. KONCSIK; M. B. MAROS; L. KUZSELLA:** Tribological behaviour of C-derived Si_3N_4 nanocomposites, Mat. Sci. For. Vol. 589. ISBN 0-87849-371-9, Trans Tch Publications, pp:403-408. 2008.
- [3] **MAROS B., M.:** Si_3N_4 kerámiák mechanikai viselkedése I. Statikus és dinamikus terhelési jellemzők; 2010. Műszaki Tudomány az Észak Alföldi Régióban konferencia kiadvány, Nyíregyháza
- [4] **MAROS B., M., HELMECZY K., N., DUSZA, J.:** Qualitative and quantitative fractographic analysis of dynamically impacted Si_3N_4 ceramics, Materials Science Forum Vol. 589 (2008) pp 73-78, , online available at <http://www.scientific.net>, Trans Tech Publications, Switzerland
- [5] **MAROS, B.M., KAULICS, N., ARATÓ, P.:** Characterization of dynamic failure process of Si_3N_4 ceramics, part I: Test procedures, fracture energies, and fractographic analysis, Fractography of Glasses and Ceramics V., Ceramic transactions, Vol. 199. Ed: Varner, J. R., Quinn, G. D., Wightman, M., ISBN 978-0-470-09737-3 pp. 421-433., 2007.
- [6] **MAROS, B.M., KAULICS, N., DUSZA, J.:** Characterization of dynamic failure process of Si_3N_4 ceramics, part II: Dynamic fracture toughness, Fractography of Glasses and Ceramics V., Ceramic transactions, Vol. 199. Ed: Varner, J. R., Quinn, G. D., Wightman, M., ISBN 978-0-470-09737-3 pp. 435-453., 2007
- [7] **CS. BALÁZSI; B. FÉNYI; N. HEGMAN; ZS. KÖVÉR; F. WÉBER; Z. VÉRTESY; Z. KÓNYA; I. KIRICSI; L. P. BIRÓ; P. ARATÓ:** Development of CNT/ Si_3N_4 composites with improved mechanical and electrical properties; Composites Part B 37, 2006. 418-424.
- [8] **I. M. HUTCHINGS:** Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials, Edward Arnold (Hodder Headline PLC), 1992. ISBN 0-340-56184-X
- [9] Tribologie, Prüfung von Reibung und Verschleiß, DIN 50 324, 1992.
- [10] Verschleiß; Begriffe, Systemanalyse von Verschleißvorgängen; Gliederung des Verschleißgebietes, DIN 50320, 1979.
- [11] **BHARAT BHUSHAN:** Modern tribology handbook, Volume One, 2001, CRC Press, ISBN 0849384036, pp. 276-300.
- [12] **GWIDON W. STACHOWIAK, ANDREW W. BATCHELOR:** Engineering tribology, Second edition, ISBN 0-7506-7304-4, 2001. Butterworth-Heinemann
- [13] **S. M. HSU, M. C. SHEN, T. N. YING, Y. S. WANG, S. W. LEE:** Tribology of silicon-based ceramics; in Silicon-Based Structural Ceramics, eds: B. W. Sheldon, S. C. Danforth, The American Ceramic Society; 1994, ISBN 0-944904-76-9

GUMIRUGÓ BEFOGÓKÉSZÜLÉK TERVEZÉSI ÉS SZILÁRDSÁGI KÉRDÉSEI

SCOPES OF THE DESIGN AND THE SOLIDITY OF A RUBBER SPRING HOLDER

MANKOVITS TAMÁS¹, RÁTHY ISTVÁNNÉ Dr.²

főiskolai adjunktus¹, főiskolai docens²
Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék
tamas.mankovits@mfk.unideb.hu, rathyne@mfk.unideb.hu

Kivonat: A cikk egy iparban használatos gumirugóhoz készült befogókészülék tervezési és szilárdsági kérdéseivel foglalkozik. Összefoglalja a befogókészülékek tervezéséhez szükséges elméleti ismereteket, majd a tervezés során a megfelelő működéshez szükséges paramétereket. A készüléket a gumirugó nyomóvizsgálatához terveztük, s mivel a készülékre ható terhelés viszonylag nagyinak mondható, így elvégeztük annak végeselemes vizsgálatát is, valamint annak kiértékelését.

Kulcsszavak: gumirugó, befogókészülék, végeselem-módszer

Abstract: In this paper the scopes of the design and the solidity of a rubber spring holder are shown which is used for holding a commercial used rubber spring for engine mounting. It summarizes the theories of the holder design and also the design parameters. This holder is made for a compression test of the rubber spring. For this occasion it is necessary to execute a finite element analysis because of the high compression forces. Finally the results of the FEM analysis are evaluated.

Keywords: rubber spring, holder, finite element method

1. BEVEZETÉS

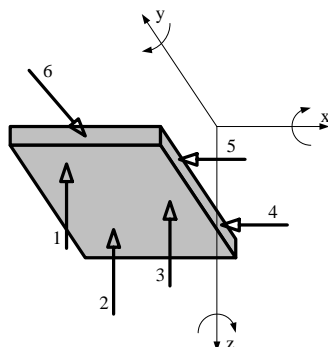
Jelen cikk abból a megfontolásból készült, hogy egy iparban alkalmazott motor- és váltótartó gumirugó nyomóvizsgálatához egy egyedi befogókészüléket kellett tervezni és legyártani. A későbbiekben a nyomóvizsgálat eredményeiből egy rugókarakterisztikát kívánunk előállítani, és egy megfelelő alakoptimalizálási eljárással – a gumirugó geometriáját változtatva – kívánt erő-elmozdulás diagramot elérni. Ehhez szükséges a befogókészülék körültekintő megtervezése, valamint annak szilárdsági analízise. A készüléket a Solid Edge v20 3d-s tervező programmal terveztük, majd annak vizsgálatát a FEMAP 10.2 végeselemes programmal végeztük el és értékeltük ki.

2. A BEFOGÓKÉSZÜLÉK TERVEZÉSI SZEMPONTJAI

A gumirugó nyomóvizsgálatához speciális, a gumirugó alakjának megfelelő befogókészülék tervezésére és legyártására van szükség.

A befogókészüléknek két fontos feladata van, a helyzetmeghatározás, illetve a rögzítés. A nyomóvizsgálat egy INSTRON 8874 típusú egyetemes anyagvizsgáló gépen történik. A befogókészülék elemeit úgy kell megtervezni, hogy egyrészt az anyagvizsgáló gép nyomólapja középpontosan, szimmetrikusan teljes felületen egyenletesen terhelje a gumirugó homloklapját, másrészt a rögzítést úgy kellett biztosítani, hogy az a felület szabadon deformálódhasson, amely az üzemszerű alkalmazás során is szabadon deformálódhat. Mivel a munkadarabnak, mint szabad szilárd testnek, hat szabadsági foka van, így a darab helyzetét hat szabadsági fok lekötésével lehet meghatározni, mely ebben az esetben a 3 tengelyirányú

elmozdulás, illetve a 3 tengely körüli elfordulás megakadályozását jelenti (1. ábra) [1,2].



1. ábra A hat-pont törvény [2]

A rögzítés tervezésénél a következő négy alapelvnek kell megfelelni [2]:

- az ülékre szorítás elve (a nyomóerő az ülékre szorítsa a munkadarabot, ahol az ülék ebben az esetben a befogó alap),
- a legkisebb hajlítókarak elve (az alátámasztás felületéhez a lehető legközelebb essen a nyomóerő hatásvonala),
- a kitérő torzulás elve (jelen esetben ez teljesül a fenti elvvel egyidejűleg),
- a határoló vonalon belüli szorítás elve (a nyomóerőt az ülékek által meghatározott területen belül kell elhelyezni).

A készülék elemeinek méreteit úgy kell meghatározni, hogy a készülék megfelelő merevségű legyen, az alkalmazott terhelő erő hatására csak tűrésen belül deformálódjon. A későbbiekben a befogókészülékhez tartozó szilárdsági analízist közöljük.

Az ellenőrzést az INSTRON 8874 biaxiális anyagvizsgáló gép névleges terhelőerő maximumára végezzük, amely 25kN (2. ábra) [3].



2. ábra Az INSTRON 8874 anyagvizsgáló gép

A készülék elemei a befogóalap, a befogótest, a befogópofa, a nyomólap, az illesztő szegek és rögzítő csavarok. A készülék alaplaján a rögzítőcsavarok az anyagvizsgáló gép rögzítő asztalának hornyaiba illeszkednek. Az alaplagra a központosító – szorító lapokat illesztőszeggel illesztettük és csavarokkal rögzítettük egymáshoz. Az egyes készülékelemek egymáshoz való rögzítésénél kerültük a hegesztést, a hegesztéskor fellépő feszültségekből adódó elhúzóerő elkerülése céljából.

A központosító – szorítólap méreteit a vizsgálandó gumirugó méret – és alaktérseinek

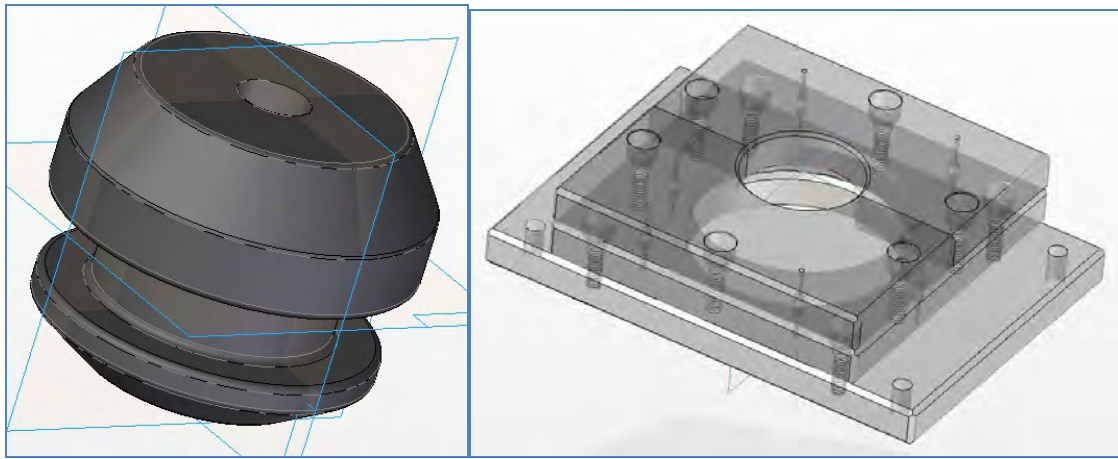
figyelembevételével határoztuk meg.

Szem előtt kellett tartani, hogy a gumi terheléskor fellépő alakváltozása során a befogó elem szélei ne vágjanak bele a próbatestbe, ezért a megfelelő helyeken éllekerekítéseket kell alkalmazni.

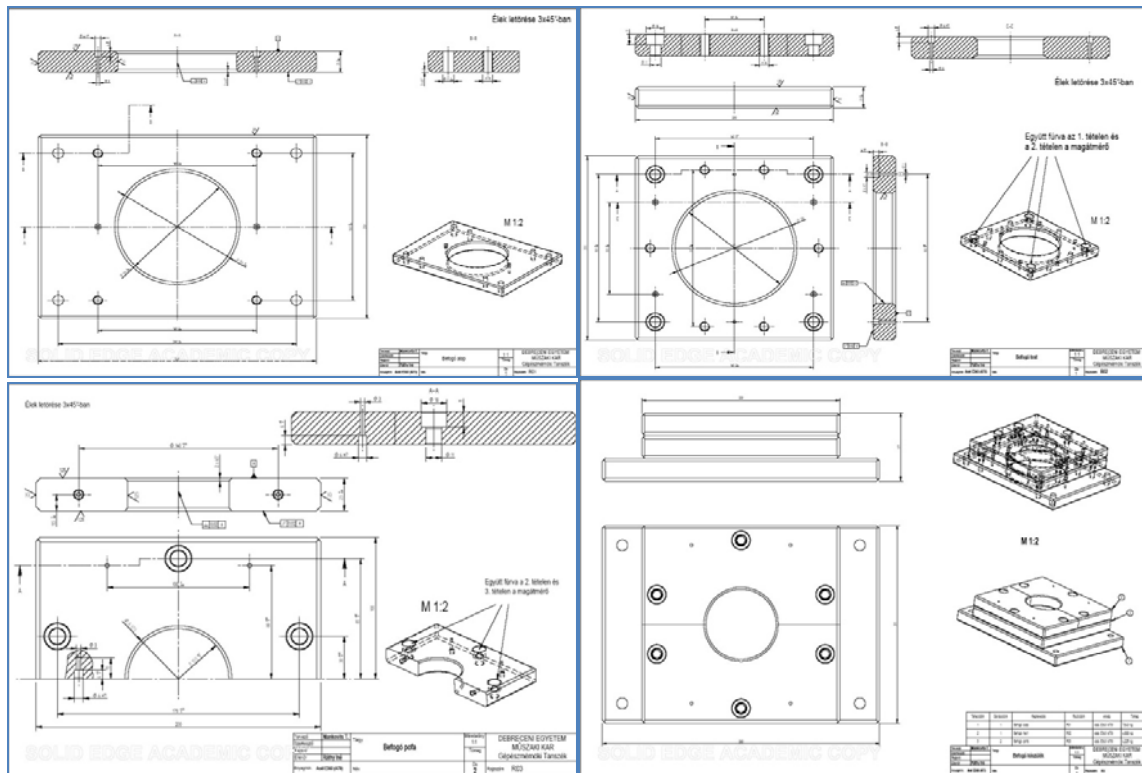
A befogókészülék anyagválasztása során műszaki és gazdaságossági szempontokat figyelembe véve E 360 N típusú szerkezeti acélt választottunk.

3. A TERVEZETT BEFOGÓKÉSZÜLÉK 3D-S MODELLJE ÉS ALKATRÉSZRAJZAI

A 3. ábrán a gumirugó és a hozzá tervezett befogókészülék 3D-s modellje, a 4. ábrán a készülékelemek műhelyrajzai és összeállítási rajza látható.



3. ábra A gumirugó és a befogókészülék 3D-s modellje



4. ábra A befogókészülék elemeinek műhelyrajza

4. A BEFOGÓKÉSZÜLÉK VÉGESELEMES ANALÍZISE

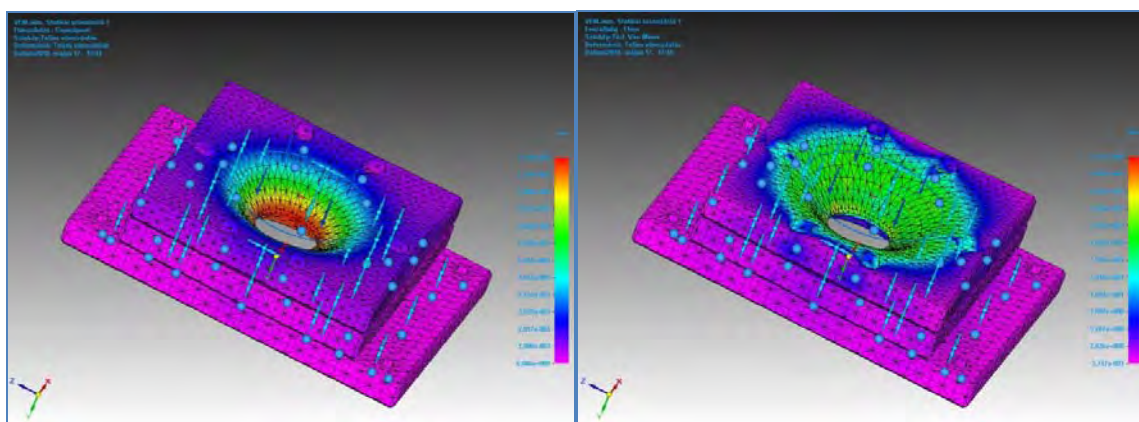
A végeselemes analízis FEMAP 10.0.2-es végeselemes programmal készült. A szilárdsági vizsgálatnál alkalmazott paramétereket, illetve eredményeket a következő táblázatokban közöljük.

Testek	Anyag	Tömeg (kg)
Befogóalap	E360N (1.0070)	7,863
Befogótest	E360N (1.0070)	4,911
Befogópofa	E360N (1.0070)	3,130
Befogópofa	E360N (1.0070)	3,130

Anyagjellemzők (E360N (1.0070))	Érték
Rugalmassági modulusz, Poisson-tényező	215 GPa, 0,3
Folyáshatár, Szakítószilárdság	365 MPa, 670 MPa

Háló típusa	térfogati (tetraéder)
Elemek száma	59568 db
Csomópontok száma	94776 db

Maximális elmozdulás	0,012mm
Maximális feszültség	31,573 MPa



5. ábra A befogókészülék végeselemes analízisének eredményei elmozdulásra és feszültségre

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikk összefoglalta a gumirugó nyomóvizsgálatához készült befogókészülék tervezési szempontjait, illetve bemutatta annak szilárdsági ellenőrző számítását. Mivel a maximális elmozdulás mértéke kicsi, így a gumirugó nyomóvizsgálatánál elhanyagolhatjuk hatását.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] KARDOS, Á., SASI NAGY, I., PERCZE, J., RÁBEL, Gy.: Készülékszerkesztés, Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1968
- [2] GYÁNI, K., KAZÁR, L., MOLNÁR, J.: Készülékszerkesztés, Tankönyvkiadó, Bp., 1980
- [3] INSTRON series servohydraulic testing systems, INSTRON Corporations, 2005.

MŰSZAKI KERÁMIÁK KOPÁSI MECHANIZMUSAINAK RENDSZEREZÉSE

CLASSIFICATION OF WEAR MECHANISMS OF CERAMICS

KONCSIK Zsuzsanna

egyetemi tanársegéd
Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék
metkzs@uni-miskolc.hu

Kivonat: A kopási károsodási folyamatok modellezésének szükséges feltétele, egy olyan rendszer megalkotása, amely részben tartalmazza a jelenleg ismert kopástípusokat és kopási mechanizmusokat, részben pedig — átfogó szemlélete és struktúrája révén — bármely irányban bővíthető egy-egy új kopástípus vagy újabb kopási mechanizmusok felfedezése esetén.

Kulcsszavak: kopási mechanizmus, kopástípus, kopási károsodás, rendszerezés.

Abstract: One of the necessary conditions of modelling wear damage processes is to create such a system which, on the one hand, incorporates wear types and wear mechanisms already known, on the other hand — due to its comprehensive approach and structure — may be further developed and extended if novel wear types or mechanisms would be discovered.

Keywords: wear mechanism, wear type, wear damage, systematization.

1. BEVEZETÉS

A kerámiák kopási viselkedésének számszerű becslése egyre fontosabb szerephez jut az ipari alkalmazások terén is. Maga a kopás nem anyagtulajdonság, hanem a rendszer válasza adott igénybevétel és adott rendszerjellemzők esetén [1]. Az anyagok kopását számos tényező befolyásolja, pl. az érintkezési geometria, felületi érdesség, mikroszerkezeti sajátosságok, szemcseméret, az anyagjellemzők, mint a keménység vagy a törési szívósság, az igénybevétel nagysága, sebessége, időtartama, a hőmérséklet, a környezet, kenőanyagok, stb. [2].

Számos megfogalmazás létezik a kopás leírására, de ezek terminológiai nem világosan definiált meghatározások. A legtöbb szakirodalom [3, 4, 5] nem tesz különbséget a kopástípus és a kopási mechanizmus elnevezése, tartalma között, ami nehézkessé teszi a kopási folyamatok jellemzését, leírását és megértését.

A kopási folyamatok modellezésének egyik első lépése egy olyan rendszer megalkotása kell legyen, amely magában foglalja a jelenleg ismert kopástípusokat és kopási mechanizmusokat, ugyanakkor bármely irányban bővíthető, amennyiben az szükséges.

Jelen cikk fő célkitűzése a kopási folyamatok azonosítására, a károsodás jellemzésére szolgáló, a szakirodalomban fellelhető különféle kategóriák, nevezetesen a kopástípusok és kopási mechanizmusok rendszerezésére irányul.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Kopástípusok és kopási mechanizmusok

A legtöbb szakirodalom a kopási jelenségeket a fémeknél használatos terminológia alapján osztályozza, így elkülönít abrazív, adhéziós, fáradásos, valamint korróziós és/vagy tribokémiai kopást [3, 4, 5]. Ezek a szakirodalomok nem tesznek különbséget a kopástípusok és

a kopási mechanizmusok között.

A DIN 50320 szabvány [6] megkülönbözteti az egyes kopástípusokat például a súrlódási rendszer alkotóelemei és a tribológiai igénybevétel jellege alapján, míg a kopási mechanizmusokat a kopási jelenség során lejátszódó fizikai-kémiai folyamatoknak megfelelően definiálja.

Valasek [7] a DIN 50320 szabvány alapján készített egy rendszerezést, amelyben a kopási folyamat során jellemző mozgásviszonyokat — csúszás, gördülés, ütközés, lökés, rétegződés, rezgés, áramlás, hullámozás — és kopási módokat, illetve különböző kopási mechanizmusokat — adhézió, abrázió, tribokémiai reakció és felületi lépcsőzetesség — vett figyelembe.

Hutchings [8] részletesen leírja a kopási mechanizmusokat, a fő mechanizmusokon belül alcsoportokat is megkülönböztet, rendszere azonban nem különbözteti meg a kopástípusokat és kopási mechanizmusokat, így osztályozási módszere nem következetes.

Lim és Ashby [9] az általuk elnevezett kopási mechanizmus iskolájukban négy fő kopási mechanizmust említnek:

- berágódás (seizure),
- megolvadással járó kopás (melt-dominated wear),
- oxidáció által irányított kopás; ezen belül enyhe és erős oxidációs kopás (oxidation-dominated wear; mild-and severe oxidation wear),
- képlékeny alakváltozás által vezérelt kopás; beleértve a rétegleválást okozó kopást, (plasticity-dominated wear; including delamination wear).

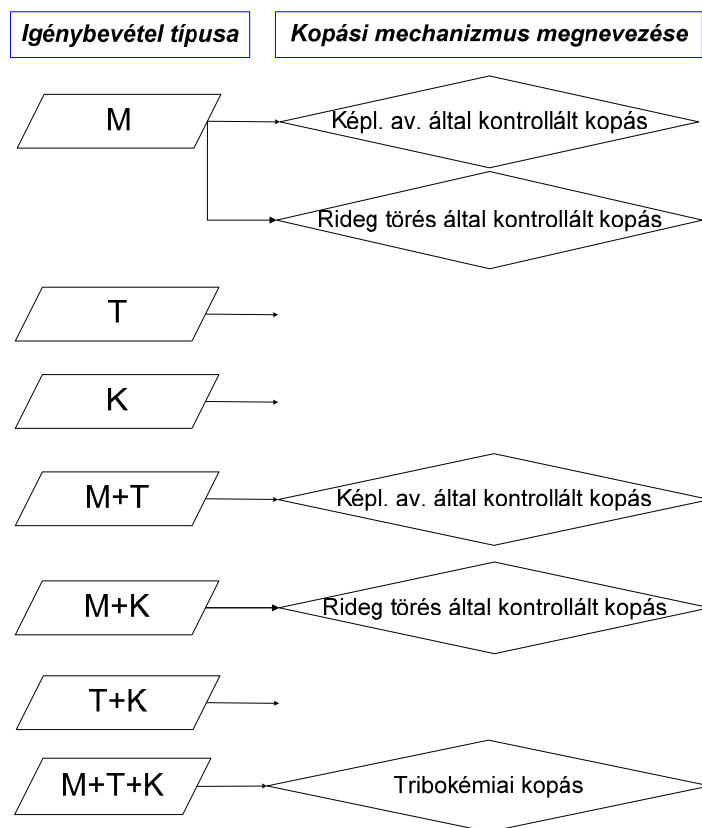
Bhusan [10] és Stachowiak [11], illetve Kato [1] egymástól függetlenül és nem azonos koncepcióval dolgoztak ki olyan fejlettebb osztályozási rendszereket, amelyek jó alapként szolgálhatnak a modellezési folyamatok során. Bhushan [10] az érintkező szilárd felületek közötti kapcsolat szemszögéből vizsgálja a kopási folyamatot. A gyakorlatban számtalan különböző érintkezési mód elképzelhető és ezek mindegyikéhez tartozhat egy-egy kopástípus.

Kato [1] rendszere szerint a kopási mechanizmusok röviden három csoportba sorolhatók: mechanikai, kémiai és termikus kopás, amely mechanizmusokhoz hét alcsoportba osztva kopási módok rendelhetők: abrázió, adhézió, képlékeny folyással járó, fáradásos, korróziós, olvadásos, és diffúziós kopás. Ebből a rendszerezésből több kopástípus is hiányzik, mint például az eróziós kopás, a fretting kopás, az oxidációs, a kavitációs, vagy az ütközéses kopás. Mechanikai kopási mechanizmus alatt az alakváltozással és töréssel járó kopási folyamatot érti. Az alakváltozásnak különösen jelentős szerepe a szívós anyagok kopásánál van, míg a töréssel járó folyamat főleg a rideg anyagoknál jellemző. A kémiai kopás alatt a kémiai reakció révén kialakuló filmréteg növekedési sebességét érti. A filmréteg kialakulását és növekedését mechanikailag gyorsítja a súrlódás. Éppen ezért ezt a kopási mechanizmust inkább tribokémiai kopásnak nevezi. Termikus kopás alatt a súrlódás által termelt nagy hőmérséklet miatti lokális felületi megolvadással járó folyamatokat érti. Elmélete szerint a diffúziós kopás is ehhez a mechanizmushoz tartozik, mivel ez a kopási mód jellemzően csak magas hőmérsékleten jelenik meg.

2. RENDSZEREZÉSI MÓDSZER

A témában tapasztalt értelmezésszerű és rendszerezésszerű ellentmondások feloldása, hiányosságok pótlása érdekében a DIN 50320 [6] szabvány terminológiáját felhasználva egy új, átfogóbb kopási rendszer megalkotását tűztem ki célul. A rendszerezés alapja a kopási folyamat során fellépő jellemző igénybevétel típusa volt, amelyet három alapvető kategóriába soroltam: mechanikai (M), termikus (T) és környezeti (K). Az igénybevételek típusán belül kopási mechanizmusokat különítettem el a kopási jelenség során lejátszódó, jellemző fizikai

és kémiai folyamatok alapján. Ezek a képlékeny alakváltozás által kontrollált, ridegtörés által kontrollált, illetve a tribokémiai kopási mechanizmus (lásd 1. ábra). A fentiekben megadott kopási mechanizmusokon belül kopástípusokat neveztem meg a kopási folyamat megjelenése, morfológiai jellemzői alapján, ahogyan azt a 2. ábra illusztrálja.



1. ábra. Az egyes igénybevételek során fellépő kopási mechanizmusok

Képlékeny alakváltozás által kontrollált kopási mechanizmus

A kopási folyamat során az érintkező felületek között lokálisan megjelennek képlékenyen alakváltozott tartományok. A képlékeny alakváltozás folyamán a közel azonos keménységű felületek súrlódása közben a felületről lokálisan *adhéziósan* tapadhatnak anyagrészek a súrlódó pár felületi érdességi csúcsaihoz. Az adhézióval feltapadt felület kiterjedése növekszik az alakváltozási folyamat előrehaladtával, majd az adhéziós réteg növekedése és annak képlékeny alakváltozás miatti felkeményedése idővel a réteg leválásához vezet [7, 8, 9, 11].

A súrlódási felületen a hőmérséklet jóval magasabb az érintkező párok között, mint a környezeti hőmérséklet, ami a felületek *megolvadását* okozhatja, így az olvadt anyagrészek kenőanyagként funkcionálhatnak tovább a súrlódási folyamatban [9, 10, 11].

A *delaminációs/rétegződési modellek* pontosabban írják le az erős kopás tartományában tapasztalható képlékeny alakváltozás által kontrollált kopási mechanizmus mikroszerkezeti megfigyeléseit. A felület egyirányú nyírása során a felszín alatti pórusok egybenyílnak; kiterjedésük megnő és repedések keletkeznek a felszín alatt azzal párhuzamosan. Ha a repedésméret elér egy bizonyos kritikus értéket pikkely-szerű kitöredezések keletkeznek, ezáltal kopási törmelék képződik [9].

Lim és Ashby [9] *fáradásos repedésterjedés*en alapuló kopási modelleket alkottak. Feltételezésük szerint a kopás során fellépő lokális képlékeny alakváltozásnak van ciklikus

komponense, így korrelációs kapcsolat található a kopási ellenállás és a fáradási szilárdság között [7, 10, 11].

Ridegtörés által kontrollált kopási mechanizmus

A ridegtörés által kontrollált kopási mechanizmus főként olyan súrlódó párok esetében jelenik meg, ahol az egyik súrlódó fél jelentősen keményebb, mint a másik. A kopási folyamat során az anyagleválasztás a kemény érdességi csúcsok által történik a lágyabb anyag felületéről, illetve az egymáshoz szorított és egymáson elcsúszó súrlódó párok közé szorult már levált kemény törmelékreszecskek által.

Kis igénybevételű, abrazív kopási folyamatok során a felületek érdességi csúcsai kerülnek kapcsolatba, de az érdességi csúcsok nem töredeznek le. Ezt a súrlódási módot gyakran *két-test abrazív kopás*nak nevezik. Ezen kopástípus megjelenésének oka egyszerűen a súrlódó párok közötti keménységbeli, illetve felületi érdességbeli különbség [6, 7, 8].

Nagy igénybevétel során fellépő abrazív kopási folyamatok során az érdességi csúcsok törőszilárdságát túllépő feszültség következtében azok letöredeznek és abrazív részecskéket képeznek, ez a *három-test abrazív kopás* néven ismert kopástípus. A három-test abrazív kopási folyamat kopási tényezője általában alacsonyabb, mint a két-test abrazív kopásé. A kétfajta anyagleválasztási mód inkább csak relatív fontosságában tér el egymástól, az anyagleválasztás módjában nem [6, 7, 8]. A *gyaluló abrazív kopástípus* elnevezést gyakran használják a nagy igénybevételek során fellépő abrazív kopási folyamat leírására. Ezen kopástípus megjelenésére utal a nagy kiterjedésű darabok abrazív leválása a felületről, például a közetek aprítása, zúzása során. A felületi károsodás mértéke, amire a gyaluló abrazív kopástípus elnevezést megalkották nem egyértelmű [6, 7, 8].

Néhány esetben kopást okoz kemény részecskék becsapódása a felületbe, amelyet áramló gáz, vagy valamilyen folyadék sodor magával. Ezt a kopástípust *erózió*nak nevezik, gyakran finomítják *szilárd részecske erózió* vagy szilárd részecske ütközési erózió elnevezésként, hogy megkülönböztethető legyen a folyadéksugár vagy folyadékcsepp által előidézett ütközési kopástípustól. A részecskék sebessége az eróziós kopás esetén általában 5-500 m/s közötti, bár a kopástípus elnevezése alkalmazható ezen tartományon kívül is. Ha a kemény abrazív részecskéket folyadék közeg sodorja magával a kopástípus elnevezése: *iszaperózió* [6, 7, 8, 11].

Ha az érintkező felületek között a súrlódás hatására filmréteg képződik, enyhébb kopást tapasztalhatunk. Ezekben az esetekben többnyire a ciklikus terhelés során megjelenő fáradási folyamatok kerülnek előtérbe a csúszás vagy gördülés során. A kopás ezen enyhébb változatát *fáradásos kopás*nak nevezzük [6, 7, 11]. Ha az érintkező felületek között fellépő ciklikus elmozdulás amplitúdója korlátozott, pl. néhány mikrométer, a felületen keletkező filmréteg bent ragad az érintkezési felületen és roncsolódik. Ilyen kopási viszonyok között *fretting kopástípus*ról beszélünk [8, 11].

Ha két kemény felület ütközik egymással a felületek károsodását *ütközési kopás* [11], míg a *kavitációs kopást* nagy sebességgel áramló folyékony közeg okozza [7, 11].

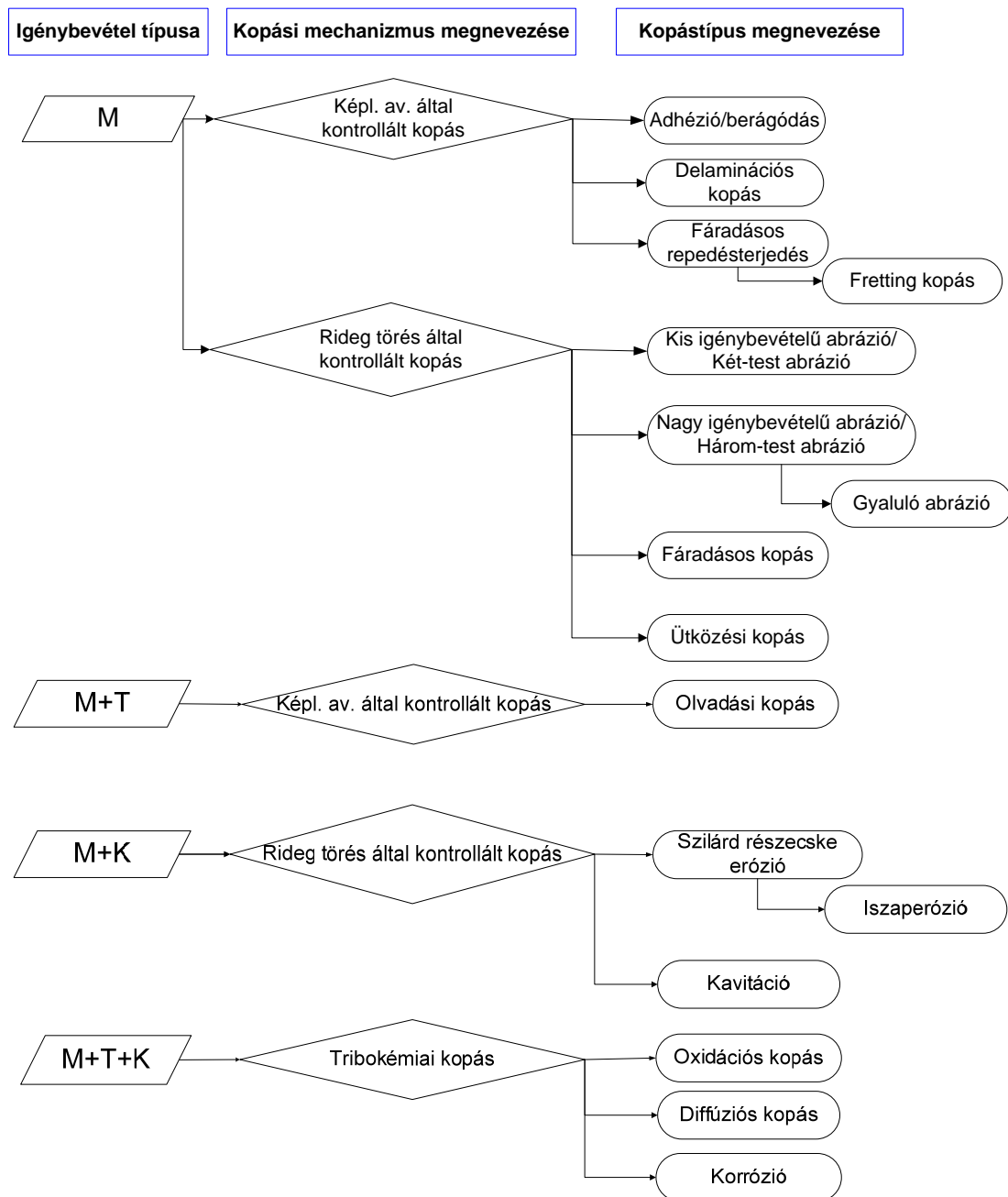
Tribokémiai kopási mechanizmus

A kopási folyamat elsősorban az érintkező felületek között lejátszódó kémiai reakció révén játszódik le. Ha a környezeti közeg korrozív közeg, a jellemző kopástípus a *korrozíós kopás* [7, 11].

Ha atmoszférikus oxigén a korrozív közeg, *oxidatív kopás*ról beszélünk. A kopási folyamat során rideg, szilárd oxid-vegyületek keletkeznek a felületen, amelyek a tribológiai igénybevétel hatására oxid-porokként, oxid-réteggként letöredeznek. Bár kutatások azt is kimutatták, hogy az oxidok néhány esetben javítják az anyag kopási ellenállását [7, 10, 11].

A megalkotott rendszer előnye, hogy a tisztázva a kopási mechanizmusok és a kopástípusok közötti különbséget, világos, átlátható struktúrát kínál a tribológiai rendszer

leírására, a legfőbb jellemző igénybevételeket alapul véve.



2. ábra. A tribológiai rendszer igénybevételeinek, kopási mechanizmusainak, kopástípusainak rendszerezése

A tribológiai rendszerben fellépő fő igénybevétel természetesen a mechanikai igénybevétel, de jelentős kopási anyagvesztést és károsodást okoznak a mechanikai igénybevételhez társuló további — termikus és/vagy környezeti — igénybevételek is. Csak termikus, vagy csak környezeti igénybevétel, illetve a kettő kombinációja sem jelenhet meg önállóan a tribológiai rendszer jellemző igénybevételeként a mechanikai komponens nélkül, ahogyan ezt az 1. ábra is bizonyítja. A megalkotott struktúra további előnye, hogy új kopási jellemzők — kopási mechanizmus, kopástípus — könnyen adaptálható, így a rendszer bármely irányba bővíthető.

Nehezíti a felhasználást, hogy a kopás egy bonyolult folyamat, így a különböző

igénybevételek hatására lejátszódó kopási mechanizmusok okozhatnak egyrészt önmagukban is károsodást, illetve kombináltan két, vagy akár mind a három jellemző kopási mechanizmus is megjelenhet egyszerre.

A kopás rendszertulajdonság, így általánosan igaz a kopási folyamatokra, hogy bármely paraméter változtatása, maga után von(hat)ja a kopási viselkedés megváltozását is. Így például csupán a kopási úthossz, vagy a vizsgálati idő növelése a kopási mechanizmus, vagy a jellemző kopástípus megváltozásához vezet(het). Egy adott paraméterekkel végzett kopásvizsgálat esetén azonban mindig az uralkodó kopási mechanizmust, kopástípust adjuk meg, ami a legdominánsabban hozzájárult a károsodási folyamathoz, az anyagleválasztáshoz.

4. ÖSSZEGZÉS, KÖVETKEZTETÉSEK

A kopás rendszertulajdonság, a kopási rendszer egyetlen paraméterének megváltoztatása a kopási folyamat változásához vezet. A szakirodalomban számos kopási mechanizmus és kopástípus megnevezés fellelhető, ezek használata gyakran nem következetes. Nem különül el egymástól a két fogalom, ezért egy adott esetre érvényes kopási mechanizmus és kopástípus meghatározása nehézkes. Ezen kívül egy kopási folyamat során gyakran nem csak egy kopástípus okozza az anyagleválasztást, ami szintén megnehezíti az adott kopási rendszerre jellemző kopási mechanizmus és kopástípus kiválasztását.

Jelen cikkben a szakirodalomban fellelhető kopási mechanizmusok és kopástípusok rendszerezését végeztem el, új alapokra helyezve az osztályozási struktúrát, amelynek alapelvét a tribológiai igénybevétel jellege szerinti osztályozás képviseli. Az igénybevételeken — mechanikai, termikus és környezeti — belül a rendszer három kopási mechanizmust — képlékeny alakváltozás-, ridegtörés által kontrollált és tribokémiai kopás — különböztet meg, amelyek az egyes kopástípusok által képviselt további alcsoportokra tagozódnak.

A rendszerezés előnye, hogy mind a kopási mechanizmusok, mind a kopástípusok struktúrája fejleszthető, ezáltal a rendszer korlátlanul bővíthető újabb kopási folyamatok, kategóriák beillesztésével. Ezen túlmenően a jelen cikkben bemutatott struktúra gyakorlati jelentősége, hogy logikailag rendszerezett alapot szolgáltat a kopási mechanizmusok számszerű becsléséhez, matematikai modellek megalkotásához.

FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM

- [1] **K. KATO:** Classification of Wear Mechanism /Models, Wear, Materials, Mechanism and Practice, Tribology in Practice Series, Editor: Stachowiak, 2005. John Wiley & Sons Inc., ISBN-13: 978-0-470-01628-2
- [2] **S.M. HSU, M.SHEN:** Wear prediction of ceramics; Wear 256, p867-878, 2004.
- [3] Vámos Endre: Tribológiai kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1983, ISBN: 963 10 4976 0
- [4] **KRAGELSZKIJ-MIHIN:** Gépszerkezetek súrlódás-és kopásszámítása, Műszaki Könyvkiadó, 1987., ISBN: 963 10 7127 8
- [5] **C. X. LI:** Wear and Wear Mechanisms, (The University of Birmingham, UK)
- [6] Verschleiss; Begriffe, Systemanalyse von Verschleissvorgängen; Gliederung des Verschleiss-gebietes, DIN 50320, 1979.
- [7] **I. VALASEK:** Tribológia 1. Tribotechnik Kft, Budapest; ISBN 963 00 8688 3; 2002.
- [8] **I.M. HUTCHINGS:** Trybology: Friction and wear of engineering materials, 1992. ISBN 0-340-56184-x Edward Arnold A division of Hodder & Stoughton, P:77-78.
- [9] **S. C. LIM, M. F. ASHBY:** Wear –mechanism maps Acta metall. Vol. 35. No. 1. pp. 1-24. 1987, Overview No. 55.
- [10] **BHARAT BHUSHAN:** Modern tribology handbook, Volume One, 2001, CRC Press, ISBN 0849384036, pp. 276-300.
- [11] **GWIDON W. STACHOWIAK, ANDREW W. BATCHELOR:** Engineering tribology, Second edition, ISBN 0-7506-7304-4, 2001. Butterworth-Heinemann

KOPÁSI FOLYAMAT ELEMZÉSE KONSTRUKCIÓS ÁTALAKÍTÁS UTÁN

ANALYSING OF WEAR PROCESS AFTER CONSTRUCTION CONVERSION

KÓSA Péter* - FARKAS Zsolt**

*műszaki oktató, **karbantartás vezető technológia ellenőr

* Nyíregyházi Főiskola, Műszaki és Mezőgazdasági Kar, Műszaki Alapozó és Gépgyártástechnológia Tanszék

** MÁV Gépezeti Főnökség Nyíregyháza

*kosap@nyf.hu **fzaward@freemail.hu

Kivonat: A változó műszaki- és biztonsági követelmények miatt szükségessé vált 1990-es évektől a MÁV V43-as sorozatú villanymozdony elavult forgóvázának konstrukciós átalakítása. Az átalakítások céljai voltak: a futásbiztonságot, a futásminőséget, a műszaki üzemkézség (élettartamot) növeljék, a karbantartási igényt csökkentsék és a felújítási ciklus idő a korszerűsítések következtében jelentősen megnőjön. Ezek vizsgálata hosszú és időigényes, több éves mérési eredményekre és gyakorlati tapasztalatra van szükség, hogy a régi és az új konstrukciót összehasonlítva következtetéseket tudjunk levonni.

Kulcsszavak: Forgóváz, konstrukciós átalakítás, futásbiztonsági jellemzők

Abstract: Construction redesign of the bogie of electric locomotive V43 became necessary from the 1990's, because of changing technical and safety requirements. Purposes of remodeling were the follows: improving the safety and quality of run and the technical reliability, decreasing the demand of maintenance and increase the cycle time of renewal by the modernization. Investigation on these is time consuming, it requires several years long measuring experience to be able to get conclusions from comparing the old and the new constructions.

Keywords: constructional remodeling, technical parameters

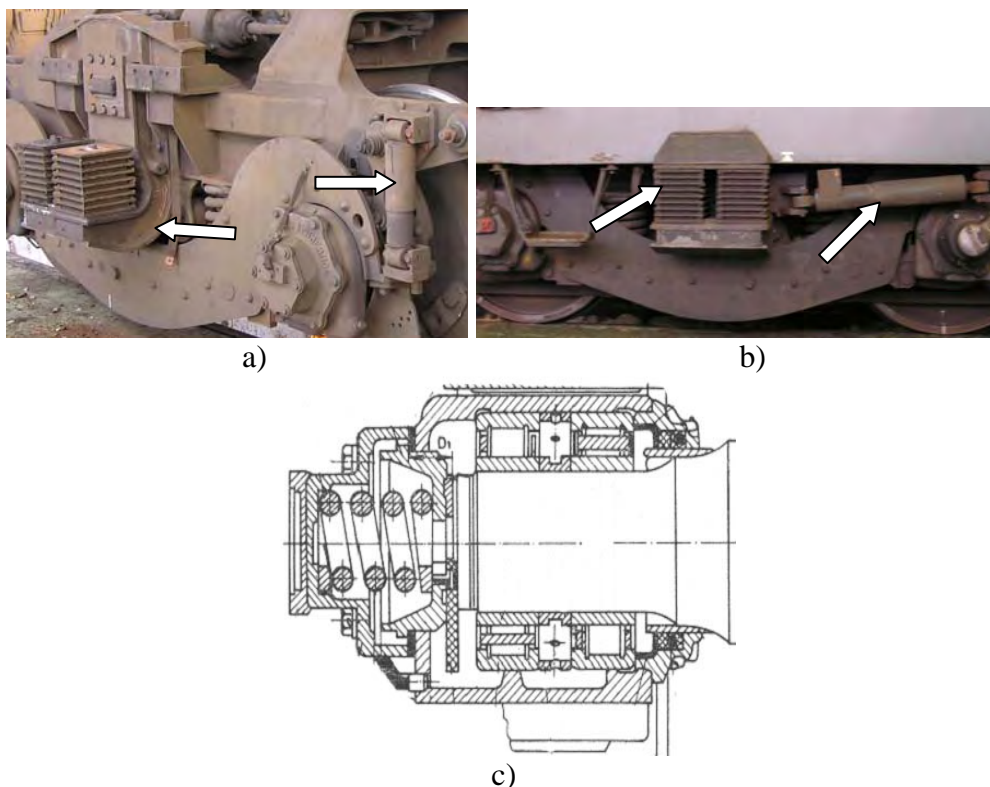
1. BEVEZETÉS

A forgóvázak futásbiztonságát, a futásminőségét, a műszaki üzemkézségét döntően befolyásolja a kerékabroncs profiljának alakhelyessége. A vasúti járművek üze alatt a kerékprofil, a folyamatos koptató-mángorló hatások miatt állandóan változik. A jármű futómű – hordmű, szerkezetein végzett átalakítások hatással lehetnek a kopási folyamatra. Gazdasági szempontból nem mellékes, hogy a jármű milyen időszakonként szorul javításra, esik ki a termelési folyamatból, és milyen karbantartási költséggel fogja terhelni az üzemeltetőt. Ezért egy első látásra jónak tűnő konstrukciós változtatásnál is szükséges a következmények vizsgálata, a folyamat elemzése, még a nagy sorozatban végzett átalakítás előtt.

Mivel nagyszámú mérési adat áll rendelkezésre az eredeti konstrukcióról, az átalakított prototípuson is elvégezve a megfelelő méréseket, már összehasonlíthatjuk a két szerkezetet. A mérési adatokat elemezve, összehasonlítva kimutatható egy műszaki változtatás eredményessége. Ezek alapján eldönthető a módosítás elvégzésének elrendelése, leállítása, illetve utalhat arra is, hogy az alkalmazandó műszaki megoldás beváltja-e a hozzáfűzött reményeket, vagy tovább gondolásra van szükség. Reményeink szerint a mérési-kiértékelési folyamat elemzése után rendelkezésünkre fog állni egy módszer melyet alkalmazhatni lehet más átalakítások elemzésére is. A futásbiztonság szempontjából a nyomkarima legfontosabb két méretét vettem alapul.

2. KONSTRUKCIÓS ÁTALAKÍTÁSOK ÁTTEKINTÉSE A VIZSGÁLAT CÉLJÁBÓL

Az egylépcsős duplex rugózás kiegészítése gumirugókkal és az ingás szekrényfelfüggesztés helyett új konzolos mozdonysekreány alátámasztást alkalmaztak. A ferodobetetes súrlódásos lengéscsillapítókat további (forgóvázanként) 4db függőleges (1a.ábra) és 2db vízszintes hidraulikus lengéscsillapítókkal (1b.ábra) a kigyózásgátló rúd kiváltására cserélték ki. Végül az Isothermos típusú, mechanikus kenésű siklócsapágyazást kétsoros hengergörgős csapágyazással váltották ki (1c.ábra.)



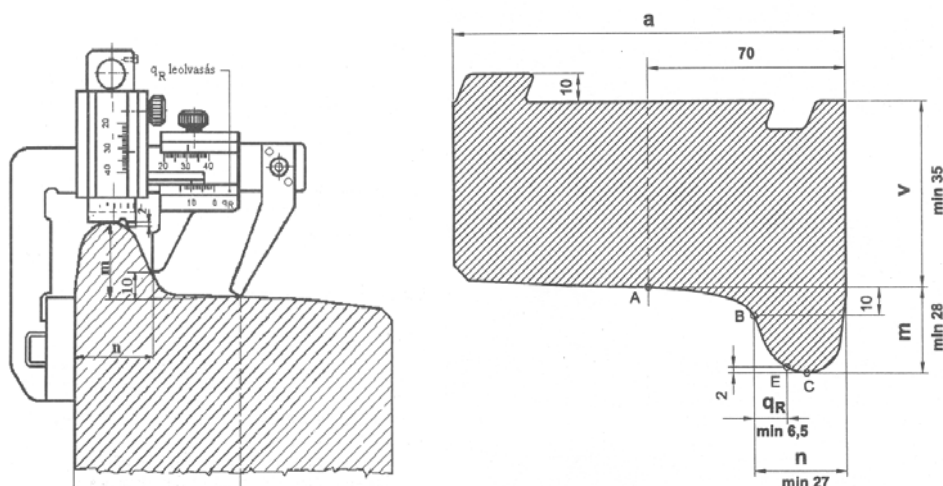
1. ábra Konstrukciós átalakítások

a) konzol és lengéscsillapító b) gumirugók és kigyózásgátló c) hengergörgős csapágyazás

3. A VIZSGÁLATI PARAMÉTEREK BEMUTATÁSA

Nyomkarima magasság (m) és vastagság ellenőrzés az abroncs futófelületének elhasználódására, „kifutásának” számszerűsíthetőségére jellemző méretek. Mérésükre a 2a. ábrán látható, szabvány [1, 2] szerinti kialakítású vasúti mérőműszert használtam. A nyomkarima magasság és szélesség megengedhető legkisebb méreteit az 2b. ábra szemlélteti. Kiválasztottam 29 db V43-as sorozatú villanymozdonyt pályaszámuk szerint.

A futásbiztonsággal kapcsolatos mérések és vizsgálatokhoz szükséges paraméter adatokat (m és n) kerékmérő lapokból (2006-2007) gyűjtöttük ki, a 2008-2009-es évre vonatkozóan a járműreszortosok által biztosított mérőeszközökkel mértük le, és a mérési eredményeket feldolgoztuk. Mozdonyonként 8 kerék adatait kellene egyszer kezelni ami egy diagramon belül igen nehézkes, ezért a vizsgált paramétereket jobb és baloldalon átlagolva jelenítettük meg. Így szembetűnőbb a két érték alakulása és a kiértékelést is megkönnyítette.



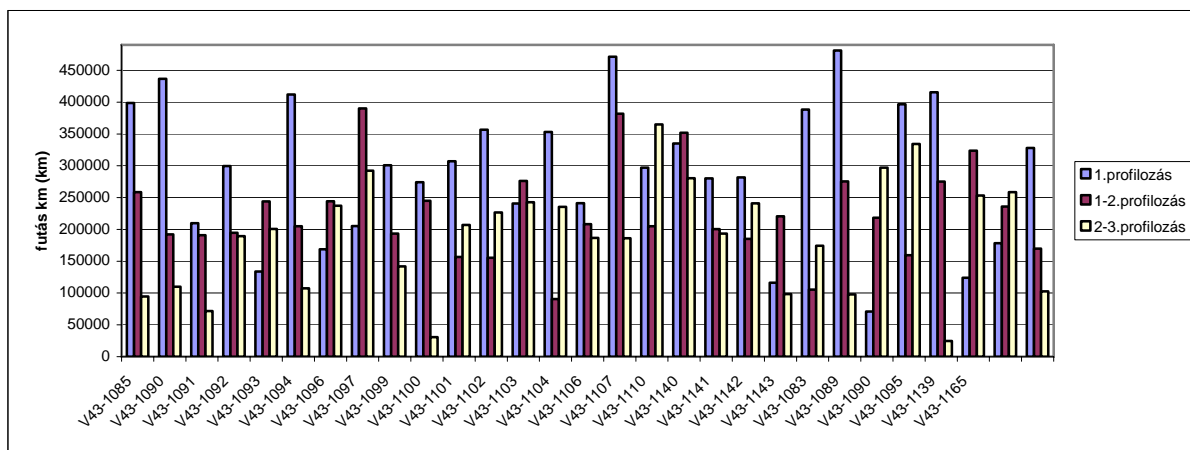
a) Nyomkarima magasság és vastagság mérése b) Az abroncs jellemző pontjai, méretei

2.ábra. A kerékabroncs profilja és geometriájának méreteinek mérése [4]

3.1. Mérési eredmények értékelése forgóváz üzemkészségi vizsgálat

Az 1. diagram a vizsgálatba bevont mozdonyoknak a forgóvázaik életciklusa alatt megtett futáskm értékeit mutatja be [3]. A hagyományos forgóvázak többsége 700-900ekm megtétele után érik el az életciklus végét [5]. Ezen értékek alatt és felett csak pár eset jelentkezett. Tehát az átlag forgóváz életciklus 850e futáskm. Megállapítható, hogy a vizsgálatba bevont átalakított forgóvázak 650-950e futáskm után érik el az életciklusuk végét. Hasonló értékek figyelhetők meg, mint a hagyományos forgóvázak esetében. Talán annyi különbséggel, hogy az átlagos forgóváz életút 780-810ekm körül alakul. Ez kicsit kevesebb az előző diagram értékeihez képest. Itt is előfordulnak alacsony és túlzottan kiugró értékek.

A járműjavítóból kikerülve az első esedékes kerékprofil szabályozás, majd első-második, második-harmadik szabályozás között megtett futáskm-t vizsgáltuk. Az első esemény 200-310ekm után következik be, míg a második esemény ettől kevesebb 180-250e km, a harmadik esemény pedig 100-210ekm futásteljesítmény után következik be. Erre az lehet a magyarázat, hogy a kerékesztergálások után az abroncs vastagsága, és ezzel együtt a kerékátmérő csökken. Tehát azonos fordulatszám megtétele esetén kisebb utat fut be a mozdony.



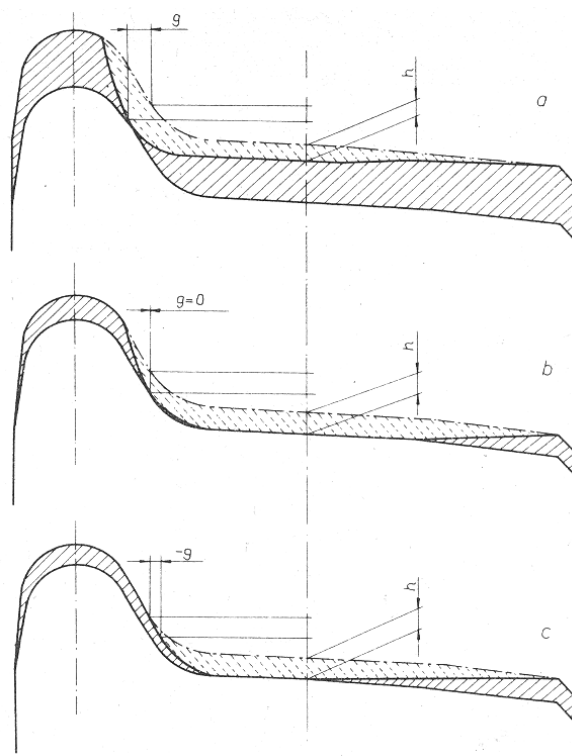
1. Diagram Forgóváz meghibásodási hisztogram

A megvizsgált forgóvázak mindegyike elérte a minimum 500e km-t a járműjavítóból ki- és visszakerülése között. A drasztikusan keveset futott forgóvázak a fékberendezés nem megfelelő kezelése miatt és egyéb váratlan esemény (idegenkezűség) kerültek korábban járműjavítóba. A legtöbb forgóváz elég tekintélyes, 800-900 ezer futás km érték elérése után került vissza ismét javításra.

3.2. Futásbiztonsági vizsgálat

Az abroncs (nyomkarima) életciklusára, vonatkozó mérések a forgóváz életút alatt a szigorúan meghatározott időciklusonként [4] elvégzett vizsgálatokból tevődik össze. Egy-egy javítási vagy vizsgálati ciklus között 20-30e km is eltelik. A futásbiztonsági méréseket olyan gyakorisággal kell végezni, hogy az előírt méretek tarthatóak legyenek. A mérés során a rendelkezésre álló adatokból a hagyományos és az átalakított forgóvázak mérési adatait hasonlítottuk össze.

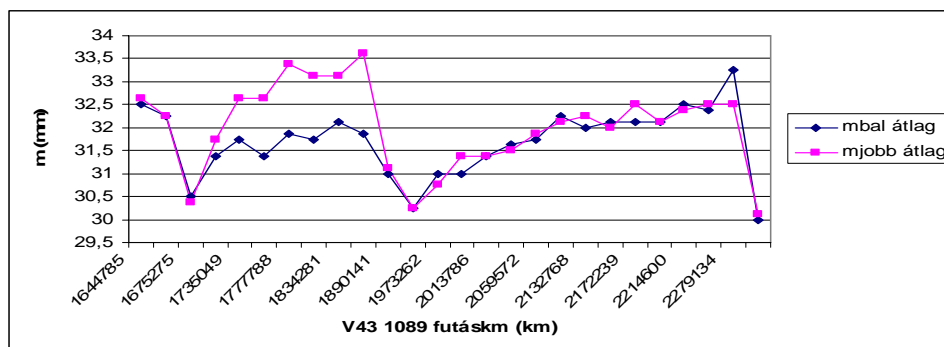
A hagyományos forgóvázal rendelkező mozdonyok (2-3.diagram) nyomkarima magasságának kopása kis méretkülönbséggel változik a megtett futáskm függvényében. Ez vonatkozik a nyomkarima vastagságára is (4-5.diagram). Ez azért lehetséges, mert a forgóvázanként egy tengelyen lévő jobb és baloldali kerekek nem azonos mértékben kopnak. Ennek oka lehet, hogy a vizsgált mozdony ugyanazon a vonalon közlekedik több héten keresztül minek következtében a külső íveken mindig ugyanazon kerekek futnak, kopásuk intenzívebb lesz, mint a belső íven futó kerekeké (Védekezés: a mozdonyok megfordítása időnként fordítókorongon). Mindegyik diagramon jól megfigyelhető a jobb- és baloldal közötti kopáskülönbség.



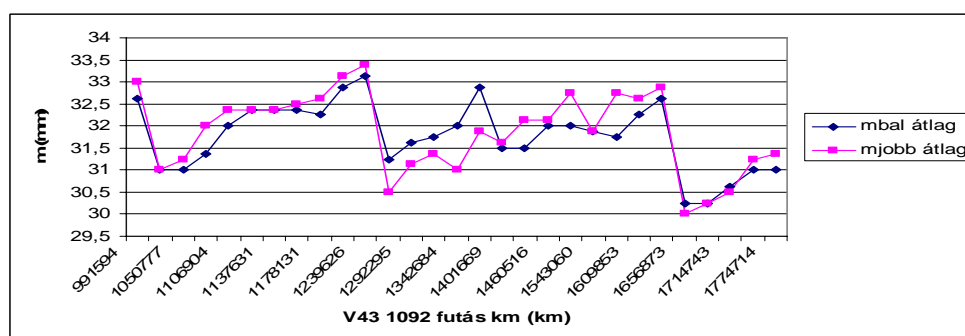
3.ábra Abroncskopás jellegzetes esetei [3]

- a) leggyakrabban előforduló kopási alak; b) ritkán fordul elő, a $g=0$. Ideális eset az új profil kialakításánál; c) a g értéke negatív, vagyis a nyomkarima a kopás ellenére látszólag vastagodott. Elég ritkán fordul elő.

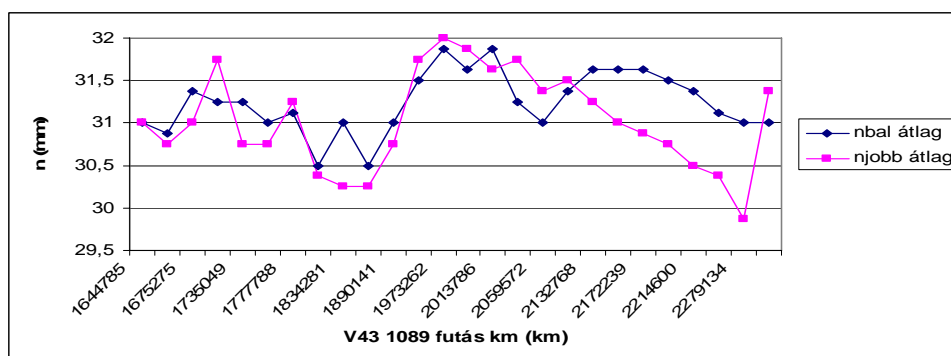
Az átalakított forgóvázak esetében levonható az a következtetés, hogy a névleges kerékprofil vastagság érték kopása átlagosan 195-270ezer futáskm érték után éri el vagy közelíti meg azt a szabványban meghatározott legkisebb méretet.



2. Diagram A nyomkarima magasságának változása a megtett futáskm függvényében

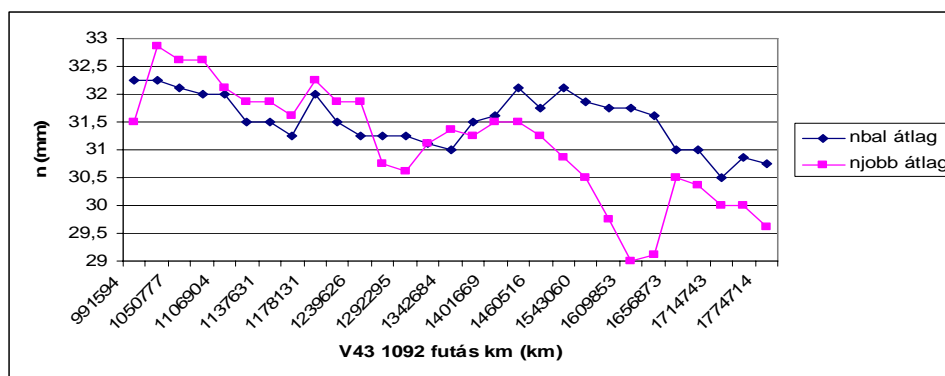


3. Diagram A nyomkarima magasságának változása a megtett futáskm függvényében



4. Diagram A nyomkarima szélességének változása a megtett futáskm függvényében

A hagyományos és az átalakított forgóvázak a felújítási ciklusa a megtett futáskm függvényében vizsgált alakulása hasonló. Megállapítható, hogy a hagyományos forgóvázaknál általában egy javítási ciklussal kevesebb volt a kerékprofil geometriai frissítése mint a konstrukciós átalakításon átesett forgóvázaknál. Az új forgóvázak kb. 6ekm-el többet futottak a vizsgálat időszakában két abroncsesztérgálás között. A csekély mértékben de megnövekedett futásteljesítmény magyarázatának lehetséges okai: feltételezhetően a kopás folyamán kialakult geometriai alak, más lesz a hagyományos és más a módosított forgóváz esetében. Az 3.ábrán bemutatott kopási alakok közül valószínűsíthetően a kisebb anyagleválasztással korrigálható profil alakul ki. Ennek megvizsgálására később egy másik elemzésben kerül majd sor. Figyelembe kell venni azt a folyamatos mángorló-hatást, mely a kerék futása közben éri az abroncsot.



5. diagram A nyomkarima szélességének változása a megtett futáskm függvényében

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgálatba bevont nagy darabszám megfelelő a reprezentatív kiértékelés szempontjából. A rendelkezésre álló 36db mozdonyból 29db-ot vizsgáltunk meg. Az adatokat elemezve azt állapíthatjuk meg, hogy az átalakított forgóvázak átlag kb. 6 ezer km-el többet futnak, mint az eredeti konstrukció. Ez az érték a teljes életút alatt futott, átlag 800-900 ezer km értéknek, a közel 1-2%-a (a vizsgált honállomáshoz tartozó V43-as mozdonyokra vonatkozik), és nem jelentős eltérés. Ez az eredmény az adatbázis pontatlansági hibájából is adódhat. Ezért nem róható fel a konstrukciós változások hibájául, azok káros következményének nem tekinthetjük. A vizsgálat során megállapítható, hogy a konstrukciós átalakításnak a gyakorlatban is bizonyítható jótékony hatása van a forgóvázra (pl. dinamikus erőhatások csökkenése a minőségileg javuló lengéscsillapítás miatt). A gördülőcsapágyazás javította a mozdonyok üzemképességét, amennyiben a tengelyágyolvasás hibák elmaradnak, valamint csökkent a mozdony karbantartás igénye, mert a gördülőcsapágy gyakorlatilag ilyet nem igényel (kivétel: kenésigény több százezer km után). Jobb rugózás és lengéscsillapítás, javította a jármű futásminőségét.

A jövőbeli cél, az adatok elemzésének további finomítása. Vizsgálataink alapján észrevettük, hogy az esztergálások mennyisége nem mindig függ szorosan össze az abroncskopással (idegenkezűség, kíméletlen használat). Ezért vizsgálatainkat kiterjesztjük az abroncsvastagság- nyomkarima méretek elemzésére a sztochasztikus folyamatok kiszűrésére. A következő elemzések az abroncsvastagság figyelembevételével fognak megtörténni, amely döntően befolyásolhatja a kopási folyamatról eddig kialakult képünket.

A nyomkarima vastagság változására és annak egyéb abroncskopási folyamatok összefüggésére választ próbálunk keresni.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BÁCSKAI F, GÖRBICZ S, HORVÁTH V:** Villamos mozdonyok javítása Bp., Műszaki könyvkiadó 1980
- [2] **BENEDEK T:** Vasúti Jármű-méréstechnika jegyzet BME Közlekedésmérnöki Kar, Budapest, 1999.
- [3] **GÖRBICZ S, SASI I, VADÁSZY P:** Vasúti járművek minősítő mérései Bp., Műszaki könyvkiadó, 1993 pp:39
- [4] **SZAKÁCSI L:** Közlekedésbiztonsági előírások a normál (1435 mm) és a széles (1520 mm) nyomtávolságú pályán közlekedő közforgalmú vontatójárművek Futó- és hordműveire Bp., MÁV Rt. 2001. pp:7,12
- [5] **MISKÁRIK LÁSZLÓ:** V43-as sorozatú mozdony forgóváz életutak Vasútépészet (szakmai kiadvány), I.k. 2007.04. negyedév p. n.

A HERNÁD-VÖLGYÉBEN LÉTREHOZOTT VÍZMINŐSÉG MONITORING RENDSZER JELENTŐSÉGE ÉS ADATAINAK ELEMZÉSE

IMPORTANCE AND DATA ANALYSIS OF THE WATER QUALITY MONITORING SYSTEM ESTABLISHED IN THE HERNÁD VALLEY

SZABOLCSIK Andrea¹
FÓRIÁN Sándor²
BODNÁR Ildikó³

¹BSc. hallgató, ²adjunktus, ³főiskolai tanár
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar
Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék
4028 Debrecen, Óttemető u. 2-4.
szabolcsikandrea@gmail.com
forian@mk.unideb.hu
bodnari@yahoo.com

Kivonat: Az emberi tevékenység okozta vízszennyezés napjainkra globális problémává vált. Ezáltal az ivóvízkészlet mennyisége is fokozatosan csökken. Szakemberek szerint az évszázad végére a víz drágább lehet az aranyból. A víz szennyezés mérséklésére egyre elterjedtebb a monitoring rendszerek alkalmazása. A folyamatos ellenőrzés lehetővé teszi a gyors beavatkozást, ezáltal a szennyezés tovaterjedését meg lehet akadályozni. A Hernád folyó teljes magyarországi szakasza ivóvíz ellátási célokat is szolgál, ezért fontos minőségének megőrzése, védelme. Ezt a célt szolgálja a folyón kiépített monitoring állomás. Vízanalitikai eljárások segítségével vizsgáltuk a folyó minőségét, illetve a mért eredményeket összehasonlítottuk a hernádszurdoki monitoring rendszer adataival.

Kulcs szavak: monitoring, vízminőség, vízanalitika, Hernád folyó

Abstract: Water pollution caused by human activity has recently become global problem. This also means that drinking-water reserve is gradually decreasing. According to experts water might become more expensive than gold by the end of the century. There are more and more monitoring systems adopted in order to reduce water pollution. Continuous controlling makes quick intervention possible. The expansion of water pollution can be prevented this way. All of the Hungarian reach of the Hernád river is used as drinking water, therefore it is important that the water quality of Hernád river is preserved and saved. The purpose of the monitoring system is to achieve that. We examined the quality of Hernád river with water analytic methods. Furthermore, we compared our results with data of the monitoring system in Hernádszurdok.

Keywords: monitoring, water quality, water analysis, Hernád river

1. BEVEZETÉS

A Földünk a víz bolygója, azonban a vízkészlet 97%-a számunkra használhatatlan sós víz formájában van jelen. A mindössze 3%-nyi édesvíz kétharmada, pedig jégbe van zárva. Ezért rendkívül fontos óvni és védeni vizeinket.

Hazánk egyik kincse a Hernád folyó, amely a 90-es évek környékén Magyarország egyik legszennyezettebb vízfolyásai közé tartozott, ezért megóvása érdekében egy vízminőség ellenőrző rendszert építettek ki a folyó 102 fkm-nél (Hernádszurdoknál), amely a Kassa térségéből érkező ipari és kommunális szennyezőanyag-terhelés hatását is figyeli.

A monitoring rendszer telepítése is hozzájárult ahhoz, hogy Hernád folyó vízének minősége fokozatosan javuló tendenciát mutasson. Ez indokolta a témaválasztásunkat, mivel ebből a példából is kitűnik, hogy a monitoring rendszereknek milyen nagy jelentősége lehet.

2. HERNÁD-FOLYÓ

A Hernád egyike Magyarország legszebb és legérdekesebb folyóinak. A Hernád a Sajó egyik mellékfolyója. Szlovákiában, Hernádfő községnél ered. Abaújnádasd községnél hagyja el Szlovákiát és Abaújvár mellett lép be Magyarországra. Mintegy 10km hosszan határfolyó is. A Hernád teljes hossza 286km, magyar szakasza 118km. Vízyűjtő területe 5436 km², ebből kb. 1100 km² van Magyarországon. A folyó halban gazdag. Szlovákiai szakasza hajózható. Vízhozama rendkívül ingadozó: 6 – 450m³ között változik (Hernádnémetinél mérve) [3].

A 90-es évek környékén a Hernád folyó Magyarország egyik legszennyezettebb vízfolyása volt, ezért 1999-ben egy monitoring állomást építettek ki a folyón Hernádszurdoknál.

3. MÉRÉSEINK ÉS ÉRTÉKELÉSEINK

A kutatásaink kezdetén elsajátítottuk a szükséges vízanalitikai eljárásokat, mely után a mintavételezés következett. A mérésekhez szükséges mintákat a Hernád folyó különböző szakaszaiból vettük. A legtöbb mintavételi hely a Hernád folyó kb. 66 fkm-nél található. Ez a folyónak az a szakasza ahol Gibárt községe található (Szabolcsik Andrea lakhelye). A vízminta fizikai és kémiai elemzése a Debreceni Egyetem Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék Környezetvédelmi és Vegyipari Művelettani Laboratóriumában történt.

Mivel az általunk mért vízminőségi paramétereket összevetettük a monitoring állomáson mért értékekkel ezért fontos a vizsgált komponensek megemlítése, amelyek a következők:

Az általunk vizsgált vízminőségi paraméterek: pH; vezetőképesség, redoxifeszültség, oldott oxigén koncentráció, zavarosság, sótartalom, BOI₅, KOI, összes keménység, ammónium-, nitrit-, nitrát-, foszfát-, szulfát-, klorid-, vas-, mangán-, cink-, réz-ion koncentrációk

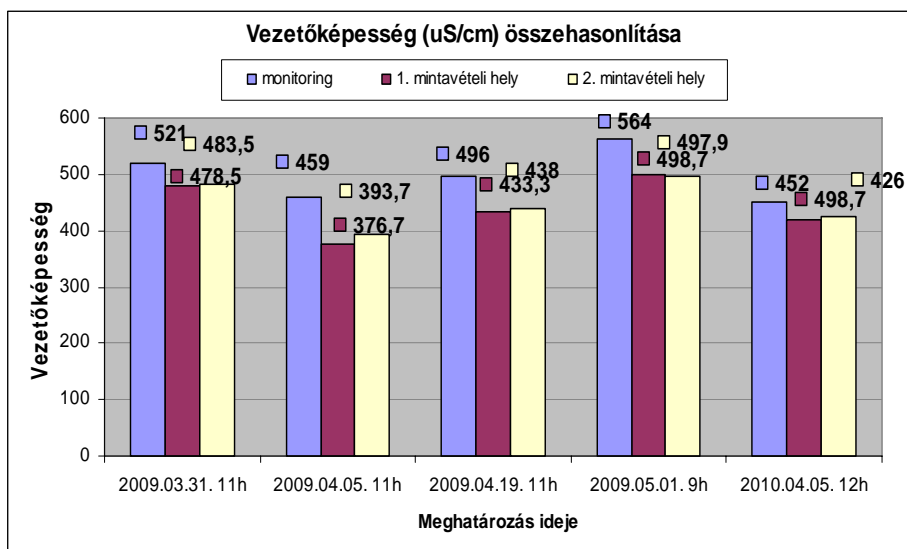
A Hernádszurdoki monitoring állomás által mért vízminőségi összetevők: pH, vezetőképesség, oldott oxigén koncentráció, zavarosság, felszín alatti TOC, felszíni TOC, ammónium-ion koncentráció, zöld alga, kék alga, kova alga, barázdás moszat, klorofill-a, toxicitás [4].

A vizsgálódásunk során összehasonlítottuk a zavarosságot, pH-értékeket, a fajlagos vezetőképességet, az oldott oxigén tartalmat és az ammónium-ion koncentrációt. A következőkben pH-t, vezetőképességet és ammónium-ion tartalom összehasonlításának eredményeit ismertetjük.

Továbbá felmerült bennünk az a kérdés, hogy ez a felszíni vízfolyás, milyen hatást gyakorol a növények fejlődésére, ezért különböző magvakkal csíráztatási kísérletet végeztünk, ezáltal nem csak szám adatok halmazát tudjuk bemutatni, hanem szemmel látható eredményeket tudunk prezentálni. Tehát ennek a kísérletnek ez eredményét is ismertetjük.

3.1. Vezetőképesség meghatározása

A vezetőképesség tájékoztat az elektrolit koncentrációról (vezetőképesség mértékegysége (Siemens/méter). Minél nagyobb az oldat só tartalma, minél több savat vagy lúgot tartalmaz az adott minta annál nagyobb a vezetőképessége [2]. A mért értékeinket és a monitoring rendszer értékeit a 1. ábra szemlélteti. A diagramon jól megfigyelhetők az egyes mérési eredmények. A mért értékek között kismértékű eltérés vehető észre, amelynek oka az lehet, hogy a minta tartósítása során olyan kémiai reakciók játszódtak le a mintában, amelynek következtében a rendszert alkotó oldott ionok koncentrációja megváltozott ezáltal a vezetőképesség értéke is változott, a diagramon jól megfigyelhető, hogy a mi esetünkben csökkent.

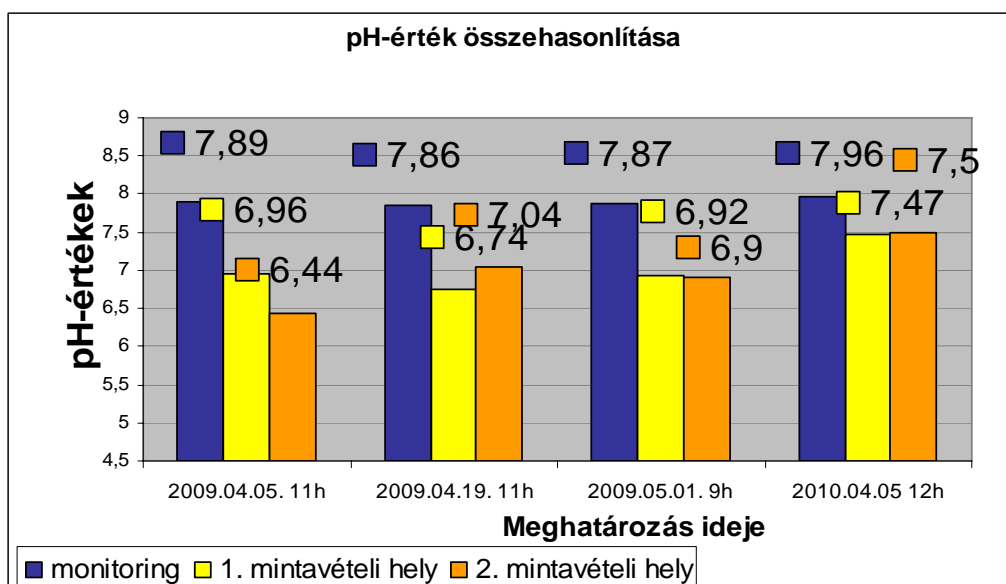


1. ábra Vezetőképesség összehasonlítása

3.2. A pH mérése

Az egyik legfontosabb paraméter a pH, amely értékétől számos egyéb minősítési jellemző függ.

A pH-érték meghatározását lehetőleg a helyszínen kell elvégezni, a mintavételt követően azonnal. Az 2. ábráról jól leolvashatók az egyes mérési eredmények, melyek elég jó egyezést mutatnak. A kismértékű eltérés oka lehet pl. az eltérő hőmérséklet és a minta tartósítása illetve az eltérő műszerezettség, mely befolyásolja a pH értékeket.



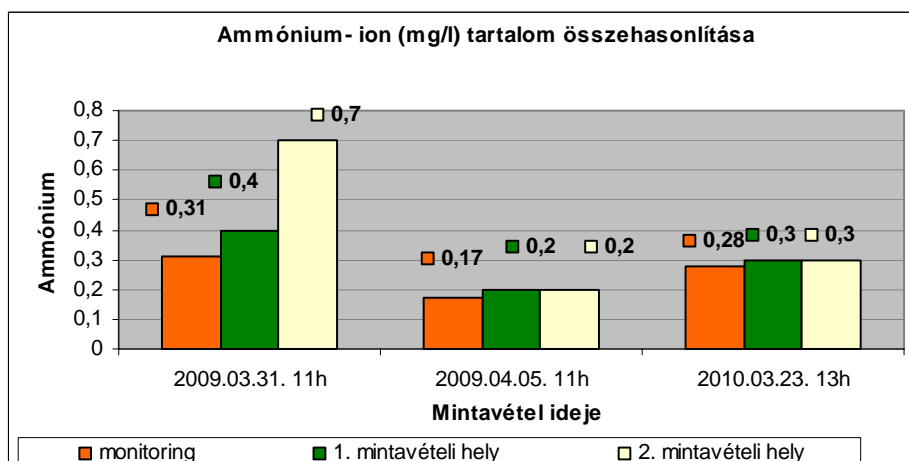
2. ábra A pH értékek összehasonlítása

3.3. Ammónium-ion tartalom meghatározása

Az ammónia (NH_3), a különféle nitrogénformák mennyiségének ismerete, a vizek anyagforgalmának vizsgálatában, a különböző öntisztulási folyamatok meghatározásában, és általában a vízminőség jellemzése során szükséges. A nitrogénformák közül az ammónia az, ami oldott gázként jelenik meg a vízben [2]. Az 3. ábrán jól észrevehető, hogy a mért értékek

nagyon hasonlítanak. A kisebb mértékű eltérés oka lehet, hogy a mintavételi helyünk és a monitoring állomás között ipari és települési szennyvíz bemosódása történhetett.

A Hernád folyó ammónium tartalma a 2000.01.01. adatok alapján elérte a 8 mg/l is. Ezáltal jól megfigyelhető, hogy az értékek drasztikusan csökkentek, mely a szigorúbb szabályzásnak köszönhető. A szigorúbb törvények által a Hernád folyó ammónium tartalmát különféle intézkedések segítségével a megengedett határérték (0,5 mg/l) alá csökkentették.



3. ábra Ammónium-ion koncentráció összehasonlítása

3.4. Sebesség meghatározása

A mi esetünkben a sebesség nagyon fontos szerepet játszott, mert a mintavételi hely és a monitoring állomás helye között meglehetősen nagy a távolság (36 fkm).

Sebesség meghatározása: Mivel a monitoring rendszer és a mintavétel hely között kb. 36 fkm távolság van, ezért fontos a sebesség ismerete. Mondhatjuk azt is, hogy a folyó vízminősége méterről méterre változik, ezért meg kell határozni azt, hogy a mintavételezésünk idejekor a monitoring állomáson mikor történt az általunk mért „azonos minta” vizsgálata.

A meghatározás során először lemértünk egy adott távolságot, ebben az esetben 15 métert. Ezután egy kukoricacsutka segítségével megmértük azt az időt, ami alatt ezt a távolságot megteszi a folyó. A pontosság kedvéért 3 mérés sorozatot végeztünk, és az értékek átlagát vettük. A vízfolyás a 15 métert átlagosan 13,53 másodperc alatt tette meg. Ebből a sebesség értéke: 1,11 m/s. Ha a mintát 11 órakor vettük, akkor a monitoring állomáson az általunk mért „azonos minta” vizsgálata kb. hajnali 2 órakor volt.

A sebesség meghatározásával lehetővé válik az egyes komponensek hígulási folyamatainak a megfigyelése vagy ezzel szemben a különböző szennyezőanyagok továbbűrűző hatásának a vizsgálata.

3.5. Hibaszázalék számítása

Szinte minden esetben az általunk és a monitoring rendszer által mért eredmények közötti eltérést a minta tartósítása és szállítása során bekövetkező változással indokoltuk, ezért elvégeztünk egy hibaszázalék számítást, amely a következőképpen történt: Helyszíni méréseket végeztünk majd mintát vettünk és a tanszékünk laboratóriumában ugyanazzal a módszerrel elemeztük a mintát ezután a kapott eredményeket összehasonlítottunk és hibaszázalékot számoltunk, amelynek eredményét az 1. táblázat szemlélteti.

Meghatározás időpontja	1. mintavételi hely			2. mintavételi hely		
	Vezetőképesség (μS/cm)	pH	Hőm. (°C)	Vezetőképesség (μS/cm)	pH	Hőm. (°C)
2010.04.05.	426	7,47	9,6	419	7,5	9,6
2010.04.06.	422,7	7,2	11	419	7,02	10
Hiba %	0,78%	1,92%		-	3,43%	

1. táblázat A hibaszázalék számítás eredménye

Fontos hangsúlyozni, hogy az általunk meghatározott hibaszázalék értékek, amelyeket az 1. táblázat szemléltet a mi szempontunkból elhanyagolható. Ezért a monitoring rendszer és az általunk mért adatok közötti eltérést a műszerek közötti különbséggel tudjuk megmagyarázni ezeknél a komponenseknél (vezetőképesség, pH) bekövetkezett minimális eltérést.

3.6. Csíráztatási kísérlet eredményének ismertetése

A csíráztatás alkalmával hat különböző magot csíráztatunk, melyek a következők: búza, kukorica, gyöngybab, nagy szemű bab, zab és borsó. A csíráztatást egyidejűleg elvégeztük ioncserélt vízre, debreceni csapvízre és a Hernád folyó vizére. A vizsgálódásunk első lépése során 2 liter vízmintát vettünk a Hernád folyó kb. 66 fkm-nél. Ezután ugyan ennyi ioncserélt vizet vásároltunk. A csapvizet pedig minden locsolás alkalmával a csapból vételeztük. Következő lépésként a magvakat vattán helyeztük el, amelyeket egy másik vattával letakartuk, majd jól elkülönítettük őket egymástól. Minden egyes magból vizenként 3-3 kísérletet végeztünk a pontosabb összehasonlítás végett. Majd ezután a magvakat általában 2 naponta locsoltunk, majd nyomon követtük a változásokat.

A hely szűkösége, miatt csak a borsó és a kukorica csíráztatása alkalmával kapott eredményeket mutatjuk be. Az 1. kép a kukorica csíráztatás végeredményét a 2. kép pedig a borsó csíráztatásának a végeredményét mutatja be.



1. kép A kukorica csíráztatás végeredménye

A kukorica csíráztatása alkalmával jól megfigyelhető az egyes vízminták közötti

különbség, amelyet a 1. kép szemléltet. A kukorica legnagyobb mértékű fejlődése a Hernád folyó vizével öntözött magvak esetében figyelhető meg. Ennek oka az lehet, hogy a Hernád vize tartalmazza a legoptimálisabb koncentrációban azokat a komponenseket, amelyek a mag fejlődéséhez szükségesek. A másik ok az lehet, hogy a fejlődéshez szükséges optimális hőmérséklet biztosítva volt (optimális hőmérséklet: 10-12 °C). Illetve a megfelelő pH érték megléte. Mind a 3 vízminta esetében méréseket végeztünk és biztosan ki tudjuk mondani, hogy a legalkalmasabb pH tartományban volt a pH érték, azaz 6,5-7,5 között.



2. kép Borsó csíráztatásának végeredménye

A 2. kép a borsó csírázásának eredményét szemlélteti. A legnagyobb és legkiegyensúlyozottabb fejlődés a debreceni csapvíz által öntözött borsóknál volt megfigyelhető. Természetesen a többi két esetben is volt csíráképződés, de nem olyan nagymértékű. Azt tudjuk elmondani, hogy a debreceni csapvíz a legalkalmasabb a borsó csíráztatására. A Hernád folyó vizével öntözött borsó fejlődése is említésre méltó, de Hernád folyó vizének lehetnek olyan összetevői, amelyek a borsó csírázó képességét csökkentik.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Összegzésként elmondható, hogy a mért értékek mind a megengedett határérték alatt vannak, így a Hernád folyó ezen szakasza a mért paraméterek alapján és az MSZ 12749:1993 szabványban leírtak szerint a jó vízminősítési kategóriába sorolható. Fontos hangsúlyozni, hogy ezen megállapításainkat csak a vizsgált paraméterek alapján mondhatjuk el, mivel számos olyan komponensen létezik még, amely a vízminőségét erősen befolyásolja, ezáltal a vízminősítési kategóriába való sorolását is módosíthatja.

Célkitűzéseink közé tartozik, hogy a jövőben a Hernád folyón található monitoring rendszer előtt és után adott távolságban az egyes szennyezőanyagok mennyiségét meghatározzuk, ezáltal a tovaterjedési folyamatokat megismerjük, és azok hatásait vizsgáljuk.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] SZABOLCSIK ANDREA- SZILÁGYI ESZTER- BODNÁR ILDIKÓ- FÓRIÁN SÁNDOR: Vízminőség monitoring rendszere a Hernád völgyében; Debreceni Műszaki Közlemények VIII. évf. 1-2. szám. Debrecen, 2009 p: 53-75
- [2] LÉVAI TIBOR: Analitika I. (Környezetvédelmi Minisztérium, 1999)
- [3] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Hern%C3%A1d>
- [4] <http://www.rivermonitoring.hu/rendszerleiras.php>

A TÓCÓ-PATAK VÍZMINŐSÉGÉNEK VÁLTOZÁSA A TISZTÍTOTT SZENNYVÍZ KIBOCSÁTÁSÁNAK TÜKRÉBEN

CHANGING OF WATER QUALITY OF TÓCÓ RUNNEL BY TAKING IN DRAWN SEWAGE WATER

SZILÁGYI ESZTER¹
FÓRIÁN Sándor²
BODNÁR Ildikó³

¹BSc. hallgató, ²adjunktus, ³főiskolai tanár
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar
Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék
4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.
eszi.szil@gmail.com
forian@mk.unideb.hu
bodnari@yahoo.com

Kivonat: Debrecen területe a Hortobágy-Berettyó vízgyűjtőterületéhez tartozik. A városnak két élő vízfolyása van, a nyugati határon a Tóció-patak, keleti részén pedig a Kondoros patak található. Ezek a vízfolyások valaha a csapadék vizet voltak hivatott elvezetni. Napjainkban a város tisztított szennyvize a Tóció-patakba ömlik. Munkánk során azt vizsgáltuk, hogy hogyan befolyásolja a patak vízminőségét a kibocsátott tisztított szennyvíz.

Kulcsszavak: Tóció-patak, vízminőség, tisztított szennyvíz,

Abstract: Area of Debrecen is belonged to catchment area of Hortobágy-Berettyó. The city has got two living water-flows: The Tóció runnel is in western area and the Kondoros runnel is in the eastern area. These runneles lead away the rainwater in the long time ago. In these days the city's gave off drawn sewage water is flowing to the Tóció-runnel. We analysed in the course of our work that how water quality of Tóció runnel can be affected by gave off drawn sewage water.

Keywords: Tóció-runnel, water quality, drawn sewage water

1. TÉMAFELVETÉS

Debrecen az Alföld szívében fekszik. A városnak két kicsi vízfolyása van csupán, és ezek sem kapnak a város lakóitól túlságosan nagy figyelmet. A város keleti részén a Kondoros, míg a nyugati területén a Tóció-patak csörgedezik. Az utóbbit szinte minden debreceni ismeri legalábbis hallomásból. Ebbe a patakba engedjük ugyanis a város tisztított szennyvizét. Ezért sokan úgy tekintenek rá, mint egy "pöcegödörszerű" vízfolyásra. A patak azonban nagy múltra tekint vissza, és nagyon gazdag élővilággal rendelkezik.

Éppen ezek miatt kezdtünk bele a patak vízminőségének vizsgálatába. Célunk feltárni, hogy milyen hatást is gyakorol a patak vizére a tisztított szennyvíz.

2. TÓCÓ-PATAK

A Tóció-patak Debrecen egyik kis vízfolyása. Az Alföld szívében folyó élővizek, így a Tóció is, a régebbi időkben, amikor még nem volt csatornahálózat, elsősorban a völgyekben összegyűlő csapadékot voltak hivatottak elvezetni. Így a vízfolyás vízhozama főképpen az éghajlati viszonyok függvénye volt. A patak forrása Hajdúböszörmény közelében Zelemérnél van. A felső pleisztocén korban a Tóció völgye egy nagy vízfolyásnak adott otthont, amely az

Északkeleti-Kárpátokban eredt. Később a kiszáradt beiszapolódott folyómederben kisebb vízfolyások alakultak ki. Így alakult ki Debrecen vízfolyása is a Tóció patak.

A vízfolyás hossza ma 25940 fm. A Hajdúsági löszhát és az Alsónyírvíz-vidék homokdombjai között észak-déli irányban halad a patak, miután a Kondorossa – Sáránd községgel egyvonalban – egyesül. Kösely néven – nyugatra fordulva a Hortobágy-medencében – folytatja útját. Vízyűjtőterülete a Köselyig 130 km².

Régen a város területén több ágban is folyt a víz, de ma már a kiépített medrében csörgedezik csak. A patak elhaladva Debrecen nyugati része mellett két ágra szakad. A keleti ág, amely a biológiailag tisztított szennyvizet szállítja, később felveszi a Tóció nyugati ágát, amely a Lovásszugi tavakból érkezik. Ebben a tőrendszerben tisztították a régi időkben a szennyvizet, a tisztítás elve az öntisztulás volt. [4]

3. A TÓCÓ-PATAK VÍZMINŐSÉGÉNEK VIZSGÁLATA

3.1. Mintavétel

A Tóció patak terhelése napjainkban kisebb mértékű, mint volt a század elején. Ez Debrecen korszerű szennyvíztisztító telepének köszönhető. Azonban az is tény, hogy a megtisztított szennyvíz minősége eltér a patak vizének minőségétől. Ennek az eltérésnek a nagyságát vizsgáltam, valamint azt, hogy milyen változást idéz elő a patak vizében a beleengedett tisztított szennyvíz.

Vizsgálatainkat a Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centrumának talajtani laborjában két alkalommal két külön időpontban vett mintával végeztük. Mintáinkat a Bartók Béla úton valamint a Vértesi úton vettük.

A vett mintákat 48 órán belül vizsgáltuk az alábbi paraméterekre:

- pH (elektrokémiai módszerrel)
- Vezetőképeség (elektrokémiai módszerrel)
- Redoxifeszültség (elektrokémiai módszerrel)
- KOI (permanganátos titrálással)
- Nitrogén formák (műszeres vizsgálat)
- Összes lúgosság (sav-bázis titrálással)
- Cl⁻ ion (Mohr szerint)
- Kálium (lángfotométerrel)

A vizsgált lépéseit jegyzőkönyvvel dokumentáltuk, az eredményekből excel táblázat segítségével számítottuk a mérési eredmény értékeit.

3.2. A pH, a vezetőképesség és a redoxifeszültség

A pH érték az adott minta savasságáról, illetve lúgosságáról ad számot. A redoxipotenciál az az érték, amely jellemzi a vizsgált minta oxidáló, illetve redukáló képességét. A negatív érték a normál hidrogén-elektron potenciáljára vonatkoztatott redukáló hatás, míg a pozitív érték az oxidáló képességet jelzi.

A vezetőképesség értéke a vizsgált minta oldott iontartalmának jellemző paramétereiről ad tájékoztatást. (vezetőképesség mértékegysége Simens/méter). Minél nagyobb az oldott sótartalom, minél több savat vagy lúgot tartalmaz az adott minta, annál nagyobb a

vezetőképessége. Ebből kifolyólag a víz összes oldott sótartalmát is mérni tudjuk.

2010.02.28			
		Szennyvíz telep előtt	Szennyvíz telep után
Hőmérséklet	°C	11,3	11,9
Vezetőképesség	µS	1077	1188
pH		7,99	7,32
Redoxipotenciál	mV	195,8	305,5

2010.03.07			
		Szennyvíz telep előtt	Szennyvíz telep után
Hőmérséklet	°C	18,9	18,6
Vezetőképesség	µS	1225	1616
pH		7,3	7,61
Redoxipotenciál	mV	425	333,9

1. Táblázat pH, a vezetőképesség és a redoxifeszültség mért értékei

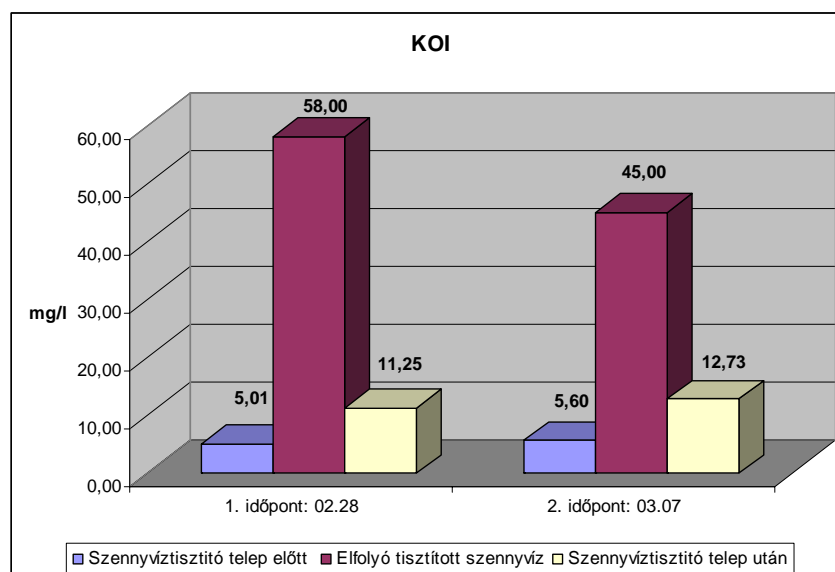
Az 1. Táblázat is jól mutatja, hogy a Tóció-patak vízminősége ténylegesen változik a tisztított szennyvíz beleengedése következtében. Jól látható az is, hogy a víz oldott sótartalma is jelentősen növekedett. A pH tekintetében a vizet semleges kémhatásúnak lehet tekinteni, lényegi változást nem tapasztaltam.

3.3. KOI

A kémiai oxigén igény a vízben lévő szerves anyagok oxidálódásához szükséges oxigén mennyiséget adja meg. Kevés kivétellel ugyan, de a legtöbb szerves anyag erős sav vagy lúg hatására szén-dioxidra és vízre oxidálható. Fontos, hogy az oxidáció végbemenetele során az összes szerves anyag oxidálódik. Ebből következik, hogy a biológiai oxigén igény paramétere soha nem lehet magasabb, mint a kémiai oxigén igényé.

A vizsgálat során kálium-permanganátos oxigénfogyasztást mértünk.

Az 1. ábrából leolvasható, hogy a Tóció-patak szerves anyag tartalma nőtt a tisztított szennyvíz hatására. Az elfolyó tisztított szennyvíz adatait a Debreceni Vízmű Zrt. szennyvíztisztító telepének laboratóriuma bocsátotta a rendelkezésünkre. Látható, hogy a tisztított szennyvíz szerves anyag tartalma több mint tízszer akkora, mint a befogadó vízéé. Ez lényeges különbség. A szennyvíztisztító telep utáni mérések eredményei is ezt tükrözik.

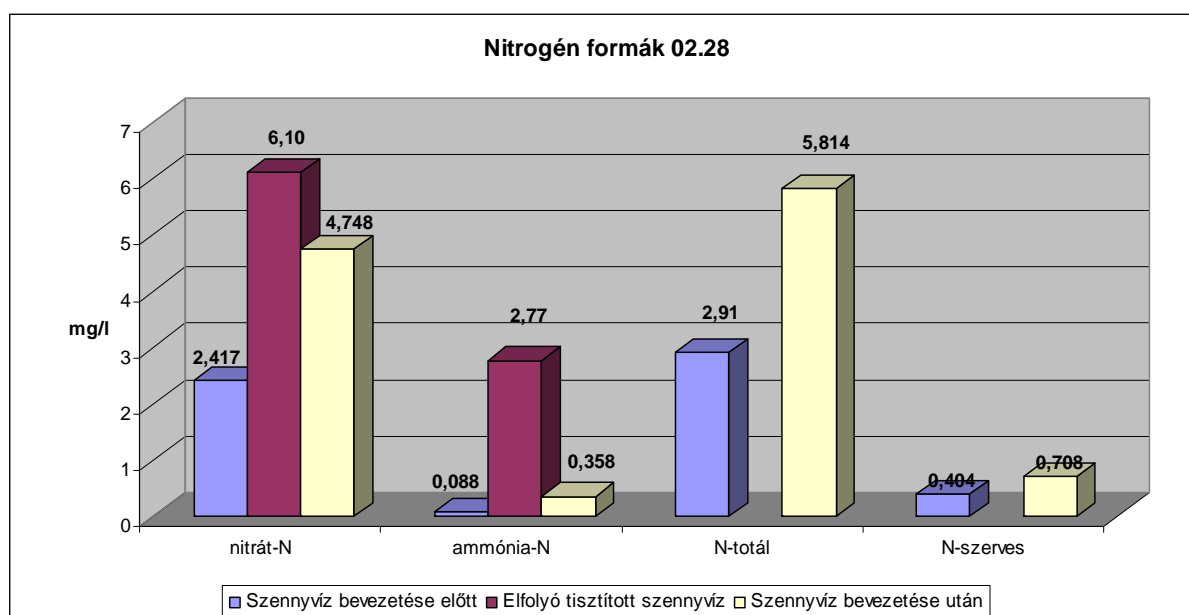


1. ábra KOI mérés eredményei

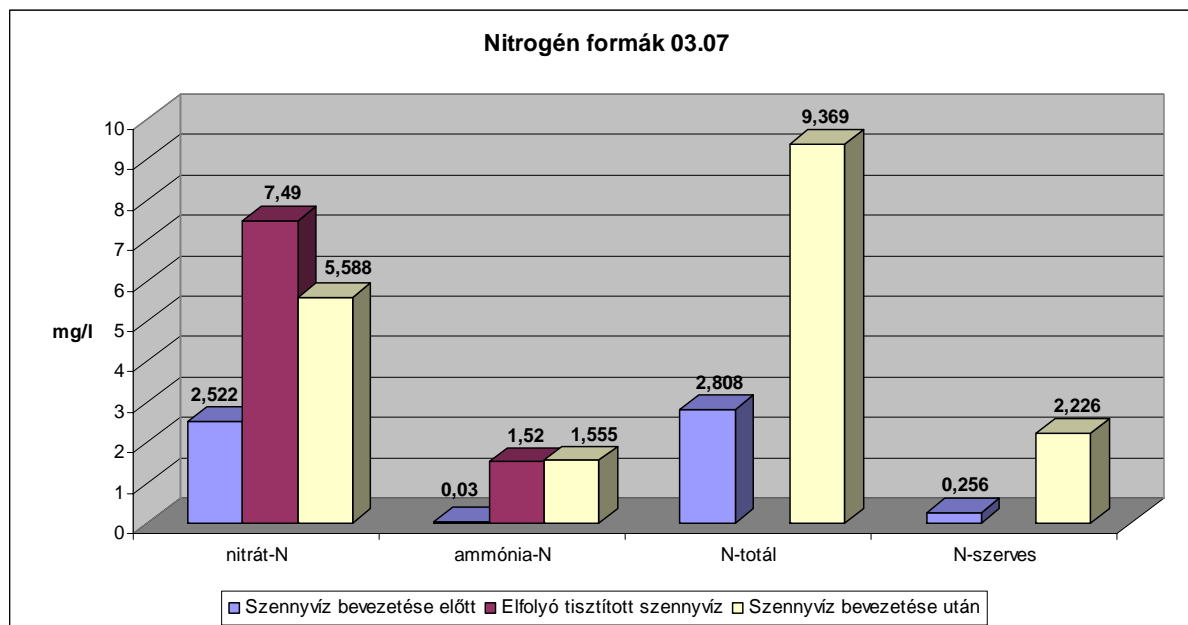
3.3. Nitrogén-formák

A nitrogén-formák vizsgálatát műszeres analitikai módszerrel végeztük. Munkánk során vizsgáltuk a nitrát-, ammónia, az összes és szerves nitrogén-tartalmat. A nitrát- és az összes nitrogén-tartalmat a Griess-Illosvay, az ammónia nitrogén tartalmát Nitroprusszid módszerrel vizsgálta a műszer, az összes nitrogén pedig egy számított érték.

Felszíni vizek vizsgálatakor fontos paraméter a nitrogén-formák mennyisége. Az elemi nitrogén egyik fontos tulajdonsága, hogy nagymértékben ellenáll a kémiai reakcióknak, addig az egyéb nitrogén-formák nagyon reakcióképesek. Annyira, hogy jóformán minden életjelenségben részt vesznek, szerves és szervetlen kötésben egyaránt.



2. ábra Nitrogén formák mért értékei 2010.02.28-án



3. ábra Nitrogén formák mért értékei 2010.03.07-án

A kibocsátott bármelyik nitrogén-forma környezetvédelmi zavart jelenthet. A tisztított szennyvíz ammónia- és szerves nitrogén tartalmával növeli a természetes vízfolyás nitrogéntartalmát, így nő a szerves nitrogén mennyisége, mely a természetes tisztulás révén a víz nitrát koncentrációjának növekedését és egyben az oldott oxigén csökkenését eredményezi. A felszíni vizekben a nitrátot a vízi növényzet veszi fel, mely már az eutrofizálódás látható jele. Tehát a külső, nitrogénbejuttatás a vizes rendszer általános termőképességét növeli.

A 2. és 3. diagram is a patak vizének változását mutatja. Mind a két mérés sorozatnál látható, hogy lényeges különbség van a patak vize és a tisztított szennyvíz minősége között. Megfigyelhető a nitrogén-formák koncentrációjának emelkedése a patak vizében.

3.4. Klorid-ion koncentráció mérése

Az élő szervezetek számára létfontosságú elem a klór, a klorid-ionok a sejt töltéseinek beállítását szolgálják, azonban a vizek túl magas klorid-ion koncentrációja káros lehet az élővilágra.

A kommunális szennyvíz klór tartalma magas. Ez főként annak köszönhető, hogy ivóvizünk fertőtlenítésére klórt használnak. Így nem meglepő az eredmény, miszerint az első méréskor a szennyvíztisztító telep után vett minta klorid-ion koncentrációja közel a duplája a telep előtti szakaszból vett minta klorid-ion koncentrációjának, a második esetben a különbség nem kétszeres, hanem közel háromszoros értéket mutat.

3.5. Kálium-ion koncentráció

A kálium-ion koncentrációt műszeres (lángfotometriás) analitikai módszerrel határoztuk meg. Ehhez szükségünk volt egy standard oldat sorra. Az ismert koncentrációhoz kapott jeleket excel táblázatban ábráztuk, és polinomiális trendvonalat illesztettünk a kapott érték párok pontjaira. A kapott másodfokú egyenlethől számoltuk az ismeretlen koncentrációra kapott jelhez tartozó értéket.

A kálium a levegőn igen gyorsan oxidálódik, ezért a természetben színállapotban nem is fordul elő. Éppen ezért a legtöbb természetes vízben kálium-sókat találunk. Mérési

eredményeink a kálium koncentrációjának az emelkedését mutatják.

A kálium egyike azon növényi tápanyagoknak, melyek meghatározzák a növény növekedését, mértékét. Hiányában a növények vízszállító képessége csökken. A káliummal jól ellátott talajokban a növények szárazságtűrő képessége javul.[1-3]

4. ÖSSZEGZÉS

Mérési eredményeink is bizonyítják, azt a szinte magától értetődő tény, hogy a természetes vízfolyásba engedett tisztított szennyvíz megváltoztatja a patak vizének minőségét.

Mérési eredményeinket összehasonlítva a vízminőségi kategóriák határértékeivel, bizonyos paraméterek tekintetében a Tóció-patak vízminőségének romlása figyelhető meg. Ez a tény befolyással van a Tóció-patak ökológiai rendszerére.

A talaj tekintetében a megnövekedett sótartalom a talaj szikesedéséhez vezethet, ez pedig a patak partján élő növényzetre lehet hatással.

A víz magas nitrát tartalma, viszont a vízinövények elburjánzását teszi lehetővé. Ennek következtében a víz oxigénszintje csökken. Ez a tény a vízi állatokra lehet hatással. Láthatjuk, hogy bárhonnan is közelítjük meg a problémát, mindenképpen azt találjuk, hogy az antropogén beavatkozás (a tisztított szennyvíz patakba való engedése) megváltoztatja az élővilágot.

Változási lehetőséget az biztosítana, ha a természetes vízfolyásba olyan tisztított szennyvizet bocsátanánk, amelynek vízminőségi paraméterei még jobban hasonlítanak a befogadóéhoz. Ezt el lehetne érni azzal, ha köteleznénk azokat a cégeket a szennyvizeik előzetese tisztítására, amelyek működésük során a kommunális szennyvíztől eltérő szennyvizet bocsátanak a csatornába.

Megoldási lehetőséget nyújtana a problémára, ha a biológiai tisztító rendszer mellett egy kémiai tisztító rendszer is működne a debreceni szennyvíztelepen. Ez azonban hatalmas beruházás lenne, ami nagyon nagy költséggel jár.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BARÓTFI I.**, Környezettechnika; Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2002
- [2] **DR. BODNÁR I.**, LABORATÓRIUMI OKTATÁSI SEGÉDLET a Környezeti analízis I. c tantárgyhoz kapcsolódó laboratóriumi gyakorlat feladataihoz, Debrecen, 2009
- [3] **DR. BODNÁR I.**, OKTATÁSI SEGÉDLET a Vízgazdálkodás- és vízminőség védelem II. c laboratóriumi gyakorlathoz, Debrecen, 2010.
- [4] <http://www.debrecen-jozsa.hu/a-toco-volgy/a-toco-volgy-foldrajza/>

DUNA- TISZA HAJÓZHATÓ CSATORNA KIÉPÍTÉSE MAGYARORSZÁGON AVAGY HOGYAN KÖZLEKEDHETNÉNK AZ ENERGIAVÁLSÁG IDŐSZAKÁBAN ÉS AZON TÚL

DANUBE-TISZA NAVIGABLE CHANNEL BUILDING UP IN HUNGARY

Dr. Major János

Főiskolai tanár
Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar
1146 Budapest, Thököly út 74.
drmajorjanos@gmail.com

Kun Szabina

Építőmérnök hallgató
Debreceni Egyetem Műszaki Kar
kunszabi5@gmail.com

Kivonat: A csatorna megépítése már 300 éve foglalkoztatja a magyar mérnököket. „Létrehozása nem elégséges, de szükséges feltétel”. A mesterséges folyómeder sokféle lehetőséget nyújt Magyarország számára, elsősorban közlekedési célra kifizetődő, de az elsivatagosodás megakadályozására, a turizmus fejlesztésére, a munkanélküliség csökkentésére is jelentős hatással van. A céloom kifejteni ezeket a lehetőségeket, alternatívákat és tanulmányterv szintjén előterjeszteni megépítésének alapjait. Napjainkban világszerte a megújuló energiaforrások kerültek előtérbe, az ember pazarló életmódja végett. Jelen helyzetünkben habár az építőmérnök legnagyobb ellensége a víz, sok előnyös tulajdonságát fel tudjuk használni elektromos energia termelésében, vízlépcsők, vízturbinák, vízimalmok létesítésével.

Kulcsszavak: csatorna, víziút, elsivatagosodás

Abstract: The Hungarian engineers have been concerned about building of the canal for 300 years ago. „Creating of the canal is not sufficient but necessary condition”. It affords several alternative possibilities for Hungary. First of all it pays with a view to traffic but it makes important impression against the desertification, on the development of the tourism and the reduction of the unemployment too. My reason is that I will explain these possibilities, alternatives and to submit the building foundations of this thing to the study plan's level. Nowadays all over the world the renewed source of energy are come to the front because of the prodigal life style of the human. In our present case although the largest enemy of the civil engineer is the water, we can use his many advantageous properties to produce electric energy and to establish water barrages, water turbines and water-mills.

Keywords: canal, waterway, desertification

1. HAJÓZÁSI CSATORNÁZÁS TÖRTÉNETE

1.1. Hajózási csatorna fogalma

A Hajózható csatorna fogalma rövid, és egyszerű: minden mesterséges medrű folyóvizet ennek tekintünk. Különböző módokra használhatók, mint hajózásra, öntözésre, vízellátásra, szennyvízelvezetésre, földek víztelenítésére, megújuló energiaforrásként.

1.2. Hajózási csatornázás az ókortól napjainkig

A hajózható csatornázás kialakulása már az ókorban elkezdődött, régészeti leletekből lehet következtetni idejére is, ez Kr. e. 3-4. évezredben, az Indus völgyében épült az első csatorna.

Az ókori görögök felhasználták és továbbfejlesztették az első civilizációk csatornázási ismereteit, azonban az ókorban a vízmű- és mélyépítés igazán a Római Birodalomban fejlődött magas szintre. A birodalom különböző részeibe költözött rómaiak igényelték az Itáliában megszokott viszonyokat, ezért a provinciákban is megépítették a vízellátás és csatornázás különböző műtárgyait, elsősorban persze a nagyobb városokban. A római vízellátásról és csatornázásról a régészeti leleteken kívül két írásos munka is fennmaradt: az egyik szerzője az építőmérnök Marcus Vitruvius Pollio (Kr. e. 1. század), a másiké, pedig az államférfi Sextus Julius Frontinus (Kr. u. 1. század).

Középkorban folytatva a fejlődést újabb mesterséges vízi út épült ki, Egyiptomban a VII. században Kairó és a Vörös-tenger között. A közlekedés fő útvonalai Bizáncon és az arab karavánutakon vezettek Indiába és Kínába.

A tengerhajózás számára óriási jelentőséggel bírt, hogy 1869-ben megnyílt a Szuezi-csatorna, s 1914-ben üzembe helyezték a Panama-csatornát.

2. MILYEN ELŐNYÖKKEL JÁR HAT MAGYARORSZÁG SZÁMÁRA A DUNA-TISZA CSATORNA MEGÉPÍTÉSE?

2.1. Közlekedés, áruszállítás

A Duna olyan fő közlekedési lehetőség, mely összekapcsolja az Európai Unió tagállamait. Keresztül halad Németországon, Ausztrián, Magyarországon, Horvátországon, Szerbián, Bulgárián, Románián és épít ki- nem csak a közlekedésben fontos-hálózatot. A Duna-Tisza csatorna megépülésével legfőképpen hazánk, illetve Európa hajózható csatornáit bővítené, gazdaságfejlesztő hatása is jelentős lehetne. Az áruszállítás és a személyszállítás szempontjából bekapcsolná az Uniós hálózatba a Közép és kelet- Magyarországi régiót. A belvízi szállítási teljesítmény -azonos energiafelhasználás mellett -a vasútnak a háromszorosát, a közútnak a 25-szörösét adja. A baleset fajlagos költségei is alacsonyabbak a közlekedés egyéb területeitől. Bár a megépítés költségei magasak, (mederkiépítés, kikötő, zsilipek, esetleges alagút) de elég hamar megtérülne az olcsó szállítás, és egyéb bejövő költségek miatt.

2.2. Turizmus

A csatorna legközvetlenebb fizikai kapcsolata természetesen a nyomvonalával érintett vizekkel és élőhelyekkel van. Ez utóbbi közé tartoznak a mezőgazdaságilag művelt területek, a lakóhelyek (tanyák) és a természetvédelmi területek. A víztelen vidéken a vízparti üdülési, sportolási és idegenforgalmi lehetőségnek nem csak szociális jelentősége nagy, de gazdasági haszna is számottevő lehet. A vízenergiát felhasználva lehetne törpe vízierőműveket létesíteni, a vízimalmok megjelenése turisztikai látványosság. A gáton közúti közlekedés, a töltésen kerékpárút futtatható.

2.3. Hatékony energiagazdálkodás

„A Föld energiakészlete kimerülőben van. Ha nem változtatunk gyökeresen energiatermelési és energiafelhasználási szokásainkon, katasztrofális állapotok alakulhatnak ki.”

Magyarországon kihasználatlan megújuló energiaként jelenik meg a vízenergia, amit jelentős mennyiségben ki lehetne aknázni. Az EU jövőképében szerepel, hogy jelentősen növelni akarja a megújuló energiaforrások szerepét a villamosenergia-termelésben. A tervek szerint 2020-ra az Unióban átlagosan 20%-ra, Magyarországon 16%-ra kell növelni (jelenleg

5%) a részesedésüket. Energiaínséges korunkban rendkívül fontos szempont az, hogy a szállítás céljára választott közlekedéshordozó mennyire üzemanyag-igényes. A legkedvezőbb helyzetben a belvízi hajózás van, mivel az energiafelhasználása a legkisebb az összes szállítási mód közül. Nemzetközi adatok szerint ugyanazon energia-felhasználással azonos tömeget belvízen 370 km-re, vasúton 300 km-re, közúton 100 km-re lehet fuvarozni, tehát a vízi szállítás csaknem 20%-kal jobb a vasútnál.

2.4. Ipari fejlesztés, új munkalehetőség

A parlamentben a költségvetési vitáknál évről-évre felmerül, hogy a gyáripar az Alföldön stagnál. Az új csatorna mentén bizonyára hamarosan megépülnének téglagyárak, fűrésztelepek, ipari parkok, ipartelepek, melyekkel az új munkalehetőségek is megnőnének.

2.5. Elsivatagosodás megakadályozása

Az országban összesen húszezer hold földet rendeztek be öntözésre, ténylegesen hatezer hold van öntözés alatt, a többiben szünetel a mesterséges vízellátás. A Duna-Tisza-közi Hátság az ország napsütöses, de kevés csapadékú területei, közé tartozik. A Csatorna az ország legritkább vízhálózatú területén vezet keresztül, és a sivatagosodásra hajlamos táj életképességét növelné, jelentős lehetőséget kínálna az ott élők életminőségének javítására.

3. DUNA-TISZA CSATORNA TANULMÁNY ISMERTETÉSE

3.1. Korábbi Tervek

A Duna-Tisza csatorna megvalósításával sokan foglalkoztak. Dillher báró 1715 évi építési javasolta az volt, hogy a kerületéhez tartozó 16 vármegye lakossága ássa ki a csatorna medrét, megyénként csak egy mérföldet. A bécsi kamara a felterjesztést mérnöki megfontolás ürügyén félretette. A 19. században Vedres István (1805-ben) foglalkozott az elsők között a problémával. Őt követte Beszédes József (1839) akinek személyes kezdeményezésre alakult meg a „Duna-Tiszai Társaság”. Törvényben biztosították a Csatorna építésére vonatkozó jogokat és kedvezményeket. Az építés elmaradt, mert a terv egyes részletei miatt vita alakult ki. A Csatorna ellenzői, az ármentesítésben, és a vasútépítésben érdekeltek oly mértékben elbizonytalanították a „beruházókat” és a törvényhozást, hogy az utóbbi visszavonta az állami kedvezményeket. A későbbiekben olyan nagy nevek merültek fel a csatorna tervezetében, mint gróf Széchenyi István (1845), Reiter Ferenc (1866), Zichy Jenő gróf (1868), Türr István (1881), Magyar Mérnök- és Építész Egylet (1897, 1902), M. Kir. Kereskedelemügyi Minisztérium (1905-től), a Magyar Köztársaság Földművelésügyi Minisztérium (1919).

1919-ben Bogdánfy Ödön által tervezett, többcélú csatorna megvalósítását határozták el, de a politikai vihar elsöpörte az építési szervezetet és a vezetőket (Gerster Béla, Bogdánfy Ödön) is. 1947 tavaszán megkezdődött az építkezés, de három hónap múlva abba is maradt. A tervek alapján közel 22 km-nyi szakasza épült meg a Ráckevei Duna ágtól Dabasig. A 2010-es választásokhoz közeledve egyes pártok fejlesztési terveiben is szerepel a csatorna további kiépítése.

3.2. Hajóút, hajótípus főbb méterei

A hajóút az 151/2000. (IX. 1.) Kormány rendelet szerint III. víziút osztályozásra a hajótípus átlagos jellemzői a következők: Önjáró áruszállító hajók és bárkákra kigyűjtve a maximális

hossz 67-80 m, a maximális szélesség 8,20 m, Merülés 2,50 m, a tonnatartalom 650- 1000 t, Hidak alatti szabad magasság: 4,00- 5,00m. A Hajócsatorna fő méretei: a legkisebb szélesség: 22 m, a legkisebb vízmélység a szélesség alatt: 3,0 m, és a legkisebb kanyarulati sugár: 800 m vagy 650m.

3.3. Az 1. és a 2. tanulmánytervek ismertetése, összehasonlítása

Tanulmánytervem során két változatot is átgondoltam a lehetséges csatornameder kiépítésére. Az első változat lefektetésénél környezetvédelmi szempontokat, domborzati viszonyokat, meglévő mesterséges vízi létesítmények helyét, a területen áthaladó közúti és vasúti nyomvonalakat vettem figyelembe. Néhány km-es kerülővel Újhartyán felé a Duna-Völgyi főcsatorna érintésével csatlakozik a már kiépített meglévő ághoz (szelvényszám: 21+830). Az első változat a Duna Soroksári ágától kiindulva Dabasig, mint meglévő csatornaszakaszon keresztül új nyomvonalként folytatva következő településeket érinti: Újhartyán, Dabas szőlők, Hernád, Rákóczitelep, Pusztavacs, Dánszentmiklós, Mikebuda, Csemő, Cegléd, Nyársapát, Törtel, Köröstétlen, Abony, Szolnok. A Cegléd környéki sűrű tanyavilágot célszerű lett volna kikerülni, de az alternatív lehetőségek sajnos még kedvezőtlenebbek tűnnek gazdaságossági szempontból.

A tanulmánytervben a következő kritikus magassági pontokat kellett áthidalni:

- Duna és a Tisza szintkülönbsége 16m- a Duna Kvassay zsilipjének tengerszint feletti magassága 95, 00 mB.f. , Szolnoknál a Tisza tengerszint feletti magasság 79 mB.f.
- Köztes akadályok: A Duna-közi Hátság legmagasabb pontja 140, legalacsonyabb pontja pedig, 83 méteren van.

A nyomvonal nem csak településeket érint, hanem különböző kisebb öntözőcsatornákat is átszel: Gerje-Főcsatorna, Gerje-Mellékcsatorna, Perje-mellékcsatorna, Közös csatorna. Szolnoknál a legkézenfekvőbb lett volna az Ipari park mellett a Tiszába csatlakoztatni a csatornát. A meglévő vegyipari komplexum magas környezetszennyezési kockázata miatt célszerűbbnek látszott a már meglévő Közös-Főcsatornán keresztül-néhány km-rel meghosszabbítva-kialakítani végcsomópontként a kikötőt.

A tervben szükséges 5 darab hajózsilip, és egy 5 km-es alagút megépítése is. Anyagi forrás hiányában vízi alagút nélkül is megvalósítható az elképzelés. A hajózsilipek különböző magasságkülönbségek hidalnak át. Kevesebb hajózsilippel is meg lehetett volna oldani, mert elviekben a magasságkorlát 30- 40 m ezeknél a műtárgyaknál, de gyakorlati szempontok miatt kivitelezhetőbbnek láttam több zsilip beépítésével.

A második változat lefektetésénél külön szempontként jelentkezett az első változatban ismertetetteken kívül a szintkülönbségek kiküszöbölése. Így hosszabb úton, de kevesebb műtárgy beépítésével jöhet létre a csatorna. A nyomvonal ugyanonnan indul, ahonnan az első változat és a következő településeket érinti: Tatárszentgyörgy, Örkény, Ladánybene, Lajosmizse, Méntelek, Kecskemét, Nyárlőrinc, Csongrád. A csatorna élővizet nem érint, többször keresztezi az Alpár-Nyárlőrinczi és XX. Századi csatornát, melyek kis jelentőségű öntözőcsatornák. A nyomvonal mentén számos tanya és mezőgazdasági terület fekszik. A térséget jobban sújtja az elsivatagosodás veszélye, mivel se természetes se mesterséges vizei nincsenek.

Összehasonlítva a két változatot:

- Hosszúságuk:- Budapest-Szolnok csatornaszakasz 94,30 km
- Budapest-Csongrád csatornaszakasz 112 km
- Szélességük: mindkettő esetében 22m
- Műtárgyak száma: 1. változatban 6db, 2. változat 3db

- Az 1. változat legmagasabb pontja 140 m, a 2. esetben 131 m
Mindkét változatnál a következő vízszintes és magassági vonalvezetési szempontokat vettem figyelembe:
- Minél több települést érintsen, az idegenforgalom javítása céljából.
- Minél rövidebb legyen, bár nem feltétlen gazdaságosabb, ha rövidebb a szakasz, minthogy az előző 2 pontban röviden indokoltam is.
- Domborzati viszonyokhoz alkalmazkodtam.
- A nyomvonalat igyekeztem hosszú, egyenes szakaszokból, és nagy sugarú ívekből kialakítani. Előírás szerint az ívek között minimum 200 m egyenesnek kell lenni, ami a helyzetemben mindkét vonalnál bőven megvalósul.
- Nem folyósodó altalaj, nagy részben homokos, löszös talajon fut keresztül a csatorna.

3.4. A hajócsatorna keresztszelvényei

A keresztszelvény létrehozásánál döntő szerepet játszott, hogy minél nagyobb legyen, annál hasznosabb, mivel így csökkenti az ellenállást. A csatorna mélysége 3,00 m, ami európai színvonalon is megfelelő. A rézsűhajlás 1:2,5-es illetve 1:4-es hajlású, melynél a kivitelezhetőség, burkolhatóság (aszfaltozás) volt a fő szempont. Mind töltésben, mind bevágásban is a rézsűvédelem hullámverés ellen elsősorban kavics, kőszórással védekezünk, nádültetéssel, és gyepesítéssel kiegészítve még hatásosabb. A gyepesítés megakadályozza a gyors visszafolyást. De akár parthoz csatlakozó vagy független gát tavi kikötőket, hullámtörőket is létesíthetünk hullámverés ellen, költségeket igazán nagyban megnöveli, és az olcsóbb megoldások is megteszik ugyanazt a szolgálatot. Jelen helyzetben vízzáró fóliával ellátott zárt burkolatot választottam. A rétegrend következőképpel alakult ki: 1. réteg egy 15cm-es zúzottkő alap, 2. réteg 10 cm-es AC 32 bitumenes útalap, majd ezekre egy 8cm-es aszfaltburkolat kerül.

3.5. A hajócsatorna vízgazdálkodása

A csatorna vízszükséglete természetes hozzáfolyással nem biztosítható, ezért a szükséges vízmennyiséget a Dunából, és a Duna Soroksári ágából juttatjuk el a csatornába.

Csatornát tápláló vízmennyiségek:

1. tápláló víz

Csatorna hidraulikai méretezése, és ellenőrzési a Chézy-képlet alapján, illetve e képletnek egyik formulájával történik, a Strickler- Manning formulával.

$$v = k I^{\frac{1}{2}} R^{\frac{2}{3}} \quad (1)$$

ahol:

v - középsebesség értéke

$k = 70 m^{\frac{1}{3}} / s$

k - simasági tényező, melynek fenti értéke a közepes méretű betonburkolatú csatornát (sima felületűt) jelenti

I - 0,0001 vízszintesítés, dimenzió nélküli arányszám

R - hidraulikus sugár, melynek kiszámítása, illetve értéke a következőkben látható

$$R = \frac{A}{K} \quad (2)$$

ahol:

A - 95,25 m², meder nedvesített keresztmetszete

K - 42 m, meder nedvesített kerülete

$$v = k \cdot I^{\frac{1}{2}} \cdot R^{\frac{2}{3}} = 70 \cdot 0,0001^{\frac{1}{2}} \cdot 2,27^{\frac{2}{3}} = 1,21 \text{ m/s}$$

$$Q = A \cdot v = 95,25 \cdot 1,21 = 115,25 \text{ m}^3/\text{s}$$

A csatorna vízzállítást kapjuk végeredményül, amely hajózó csatorna fenékszélességének és a vízmélységnek a meghatározásából áll.

2. Felületre hulló csapadék

A Duna- Tisza közén nagyon alacsony a csapadékmennyiség, számszerűen 500-600 mm/év. Az átlagos éves csapadékösszeg az 1961-1990 közötti időszak adatai alapján.

3. Talajból beszivárgó víz

A beszivárgó víz nem számottevő, mivel burkolt mederrel van dolgunk, amely szigetelőfóliával van ellátva.

Csatornából eltávozó vízmennyiség:

1. A Csatorna szivárgási vízvesztése

Esetünkben ez a zárt burkolat miatt alacsony százalékot tesz ki. A burkolat aszfaltburkolat, nagy részben betont, vasbetont szoktak alkalmazni, de mivel jóval drágább, ezért helyettesíthető a beton aszfalttal. Szivárgás elleni védekezési módszerek lehetnek, ha burkoljuk a medret, szigetelő réteget helyezünk el, vagy kicseréljük a talajt, mondjuk homok helyett egy vízzáró agyagot, rakunk be. A szigetelő rétegnél műanyag fóliát alkalmazhatunk, amely lehet mesterséges, és persze természetes is, a hátránya azonban, hogy könnyen rongálódhatnak.

2. Párolgási veszteség

Az évi átlagos kádpárolgás az érintett területen 800-825 mm. A globális átlag évente 900-1000 mm.

4. ÖSSZEGZÉS

A Duna Tisza csatorna megépítésének gondolata több száz éve végigkíséri történelmünket. Leginkább politikai és anyagi okok miatt megépítése sosem valósulhatott meg. Nagy kihívást jelenthet mind műszaki, mind gazdasági szempontból is a csatorna létrehozása. A tanulmányban két lehetséges csatornanyomvonal bemutatására került sor a gazdasági előnyök

és a műszaki problémák hangsúlyozásával. Összességében azonban a magyar gazdaság hatékony fellendülését és a megújuló energiaforrások bővülését eredményezné, ha a közeljövőben megépülhetne végre a Duna-Tisza csatorna.

5. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] <http://www.bautrend.hu/index.php/2009-augusztus/284-2009-augusztus-szeptember/1501-az-okori-romaban-aquaeductus>
- [2] **Juhász Endre:** A csatornázás története; Magyar Víziközmű Szövetség, Budapest, 2008
- [3] <http://www.nyf.hu/others/html/kornyezettud/zoldtortenelem/OOkor.htm>
- [4] **Dr. Sós Katalin- Dr. Nánai László** energiaválság- energiahatékonyság. A fizika tanítása 2010. januári szám
- [5] <http://www.huszadikszazad.hu/index.php?apps=cikk&cikk=787>
- [6] <http://www.tankonyvtar.hu/tajrendezer/tajtervezes-tajrendezer-080906-27>
- [7] http://www.taks.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=100:a-csati-a-duna-tisza-csatorna-roevide-toerteneke&catid=45:cikkeke&Itemid=67
- [8] **Orlói István:** A Tiszát a Dunával összekötő csatorna Budapest 2005
- [9] <http://eki.sze.hu/ejegyzet/ejegyzet/levved/leveg/node21.htm>
- [10] **Dr. Major János:** Adria- Száva- Dráva- Rába- Duna hajócsatorna, Budapest, 1982

Felhasznált képek:

- [11] <http://folyamhajo.hu/grafika/szamgraf>
- [12] http://generationstour.blog.hu/2007/08/28/ket_sivatag_talalkozik_de_homokot_inkabb_26
- [13] http://www.atom.hu/Kalandjaink/2008-07-19-28_Erdely/photos/Torockoi_malom-1.html
- [14] <http://www.tankonyvtar.hu/tajrendezer/tajtervezes-tajrendezer-080906-136>
- [15] <http://www.parameter.sk/rovat/belfold/2009/07/16/hosszabb-ideig-jarna-munkanelkuli-segely>
- [16] <http://www.kissugyeskert.hu/ontozesteknika.htm>
- [17] <http://www.euroship.hu/index.php?pageid=53>

A BERETTYÓÚJFALUI SZENNYVÍZTISZTÍTÓ HATÁSA A BERETTYÓ FOLYÓ VÍZMINŐSÉGÉRE

THE EFFECT OF SEWAGE FARM OF BERETTYÓÚJFALU FOR THE WATER QUALITY OF THE BERETTYÓ RIVER

RÁCZ Zoltán¹
FÓRIÁN Sándor²
BODNÁR Ildikó³

¹BSc hallgató ²adjunktus ³főiskolai tanár
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar
Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék
4028 Debrecen, Ótmető u. 2-4.
rz.86@freemail.hu
forian@mk.unideb.hu
bodnari@yahoo.com

Kivonat: A megtisztított szennyvizet az esetek döntő többségében élő, természetes vízfolyásokba juttatják vissza. Vizsgálataink során igyekeztünk feltérképezni a berettyóújfalui szennyvíztisztító telep működési, kibocsájtási paramétereit, valamint a befogadó Berettyó folyó tulajdonságait. Ezeknek az információknak valamint a saját terepi megfigyeléseinknek a birtokában fizikai, kémiai, biológiai vízminősítést végeztünk. A fenti paramétereket vizsgáltuk a tisztított szennyvíz Berettyóba való bevezetése előtti és utáni folyószakaszon, valamint magán a kibocsájtott vizen is. A kapott eredményeket összevetettük az ide érvényes jogszabályi háttérrel is és levontuk saját következtetéseinket.

Kulcsszavak: szennyvíztisztító telep, Berettyó folyó, minősítő vizsgálatok.

Abstract: Usually sawage water is intaken to the natural water flows. Physical, chemical and biological characteristic of the water of Berettyó river were studied. We experienced that the sewage farm of Berettyóújfalu clean the water efficiently and according to our examinations his damaging effect for the Berettyó river is minimal. It is verifiable, that the intake of the untreated sewage would cause drastic changes.

Keywords: sewage farm, Berettyó river, qualifier examinations.

1. BEVEZETÉS

Az emberi társadalom mindennapi életvitele során felesleges, már nem hasznosítható szennyvizet termel, melynek összetétele igen sokféle lehet. Ezt a vizet korábban kezeletlenül bocsájtották a környezetbe, melyek ott súlyos károkat okoztak. Ezeket a károkat minimalizálni lehet, ha az összegyűjtött szennyvizet kezeljük és a megfelelő módon és a legmegfelelőbb helyen juttatjuk vissza a környezetbe. Ehhez pontos ismeretekre és alapos tervezőmunkára van szükség [1].

2. A BERETTYÓ FOLYÓ BEMUTATÁSA

A Körösök vízgyűjtőterületéhez tartozó Berettyó Romániában, a Réz-hegység ÉK-i részén ered. A Réz-hegységről leérve a szilágynagyfalui medencében folyik tovább, majd beér az olajpala és lignit-telepeket tartalmazó Berettyószéplaki-medencébe. Folyton szélesedő, tölcsér alakú völgyében nyugat felé tart és Szalárd környékén éri el az Alföldet. Magyarországot Pocsajnál éri el, majd innen folyik tovább Berettyóújfalu felé. A települést elhagyva Szeghalomnál torkollik a Sebes Körösbe. A folyó Bakonszegtől Szeghalomig egy

mesterségesen létrehozott mederben folyik. A teljes hossza eredetileg 364 km volt, jelenleg 198 km, ebből a magyarországi szakasz 78 km. A Berettyó vízgyűjtő területe 6095 km², amelynek nagyobbik része a mai Románia területére esik. Vízjárását tekintve az egyik legszeszélyesebb folyónk [2, 7].

3. A BERETTYÓÚJFALUI SZENNYVÍZTISZTÍTÓ RÖVID BEMUTATÁSA

3.1. Bevezetés

A szennyvíztisztító telep rövid áttekintését azért tartottuk fontosnak, mivel a Berettyó hazai szakaszán ez az egyik legnagyobb szennyezőanyag terhelést okozó forrás a szeghalmi szennyvíztisztító telep mellett.

A berettyóújfalui szennyvíztisztítót 1996-ban adták át, amióta is nagy hatékonysággal működik. A telepen ipari és kommunális szennyvíz befogadására és tisztítására kerül sor, majd a már kezelt vizet a Berettyó folyóba vezetik be [3].

3.2. A szennyvíztisztítóra vonatkozó fontos paraméterek

A biológiai tisztítósor mértékadó (a telep technológiai méretezésnél alapul vett) napi szennyezőanyag terhelése: BOI_5 : 1485 kg/m³, NH_4-N : 170 kg/m³

A szennyvíz tisztítás hatásfoka: A szennyvíztisztító telep 1996. évi műszaki átadása után a próbaüzemi jelentésben rögzített tisztítási hatásfok értékek a következők: [4]

KOI_k : 95,9 %, BOI_5 : 98,0 %, Összes lebegőanyag: 98,5 %, SZOE: 95,0 %, NH_4-N : 97,0 %, összes N: 91,5 %, összes P: 94,5 %.

A keletkező iszap végleges elhelyezése: A jelenleg a szennyvíziszap hozzátétőlegesen 50-50 %-ban került hulladéklerakó telepi, ill. mezőgazdasági elhelyezésre. [8]

Önellenőrzést végző laboratórium megnevezése: Hajdú-Bihari Önkormányzatok Vízmű ZRT Központi Laboratóriuma (Debrecen, Hétvezér út 21.) [4]

4. MÉRÉSEINK ÉS AZOK KIÉRTÉKELÉSEI

4.1. Fizikai vízminősítés

SZÍN-, SZAG-, ÉS HŐMÉRSÉKLET VIZSGÁLAT

A Berettyó felszínén az átlagostól eltérő színváltozásokat egyik mérési ponton sem tapasztaltunk. A bevezetett szennyvíz azonban a folyó vizéhez képest nagyon sötét, de a hígulás miatt ez néhány méter után nem is érzékelhető. A szennyvíz kellemetlen szaga csak úgy, mint a szín esetében az intenzív keveredésnek köszönhetően kis távolságban megszűnik. A bevezető cső előtti és utáni adatokat összevetve is azt tapasztaltuk, hogy a hőmérsékletnövekedés a bevezetés után szinte elhanyagolható.

4.2. Kémiai vízminősítés

VEZETŐKÉPESSÉG MÉRÉSE

A vezetőképesség érték a vizsgálandó oldat ion-koncentrációjára jellemző gyűjtőparaméter. Minél több sót, savat, vagy lúgot tartalmaz a vizsgálandó oldat, annál nagyobb a vezetőképessége. Mértékegysége: Siemens/méter.

A beérkező tisztított szennyvíz vezetőképessége a folyó vizéhez képest szinte minden mérés során kétszeresnek vagy annál is többnek adódott. Ezen értékek kiválóan

reprezentálják, hogy a kibocsájtott víz ezen minősítés szerint konstans mennyiséget képvisel, ami egy jó tisztítóüzemtől el is várható. A nagy terhelés ellenére a tisztító után 1 m-re mért vízben az érték emelkedése minimális mértékű, olyannyira hogy szinte el is hanyagolható változás történt.

SÓTARTALOM MÉRÉSE

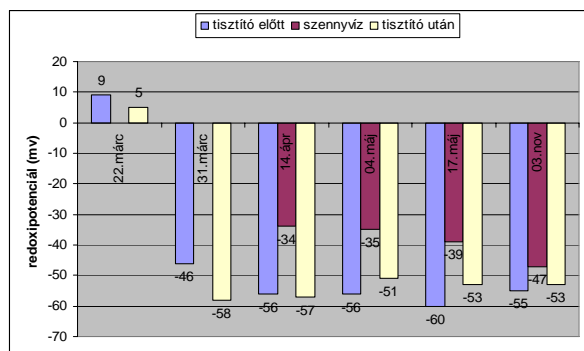
A sótartalom mérése az előbb említett vezetőképesség méréssel teljesen analóg módon történik, a mérés során ugyanazt a vezetőképesség mérő cellát alkalmaztuk. Nemcsak a mérés menete, hanem a kapott eredmények is hasonlóak a vezetőképességnél leírtakkal. A nagy terhelés ez esetben sem okozott jelentős változást.

A pH MÉRÉSE

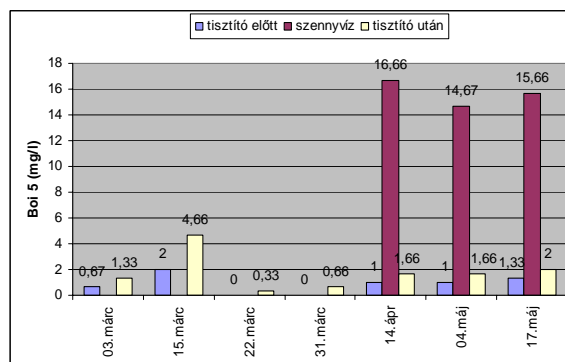
A pH igen kis intervallumon belül ingadozik függetlenül, hogy hol és mikor mértük. Ez mindenképpen kedvező jelenség. Az értékek majdnem minden esetben 7 körüliek, tehát közelítik a semleges tartományt. Megfigyeltük továbbá, hogy a tisztított szennyvíz pH-ja minden esetben, ha kicsivel is, de kisebb volt, mint a bevezetés előtt a folyóvízre kapott érték. Ebből kifolyólag a cső után minimális csökkenést tapasztaltunk, ami kedvező.

REDOXIPOTENCIÁL MÉRÉSE

A redox-potenciál értéke jellemzi a vizsgált oldat redukáló, ill. oxidáló képességét. A negatív érték a normál hidrogén-elektrod potenciáljára vonatkoztatott redukáló, a pozitív érték pedig az oxidáló hatást jelzi.



1. ábra A redoxipotenciál mérés eredményei



2. ábra BOI₅ mérési eredmények

Ennél a mérésnél a legszembetűnőbb dolog, hogy a redoxipotenciál értéke majdnem mindig negatív, tehát a víz ezekben esetben redukáló hatású volt. Az minden mérés esetén megállapítható, hogy a szennyvízben mért értékek nagyobbak, mint a cső előtti vízben. Ebből kifolyólag legtöbb esetben a bevezetés után a redoxipotenciál nagyobb lett, mint előtte volt.

OLDOTT OXIGÉN MÉRÉSE

A tényleges oxigénkoncentráció számos tényezőtől függ, pl. a hőmérséklettől, a légnomástól, a mikrobiológiai lebontási folyamatok oxigén-felhasználásától illetve az algák oxigéntermelésétől stb.

Az oxigén koncentrációnak döntő jelentősége van a következőkre:

- A vízben él halak és mikroorganizmusok életfeltételeire.
- A szennyvíztisztítás lebontási folyamataira.
- A csővezetékek korróziós folyamataira.

Általánosan megfigyelhető hogy a szennyvízben az oldott oxigén kevesebb, mint amit a folyóban a bevezetés előtt mértünk. Emiatt minimális csökkenés tapasztalható a cső utáni vízben.

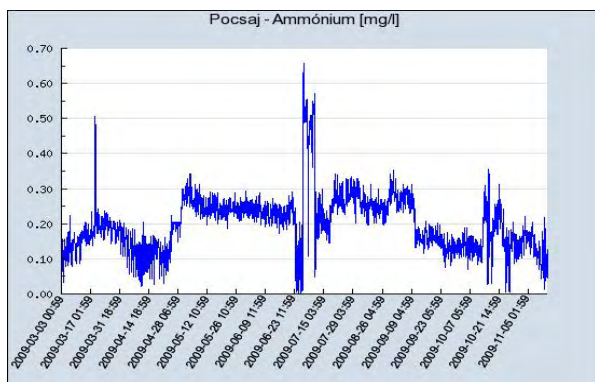
A szennyvíz oxigén tartalma legtöbb mérés során kis mértékű ingadozást mutat, ami kedvező. Az oxigénháztartás stabilitása nagyon fontos paraméter az öntisztulás szempontjából.

A szabvány által meghatározott minősítés és az előírt határértékek alapján a víz minden esetben kiválónak minősíthető.

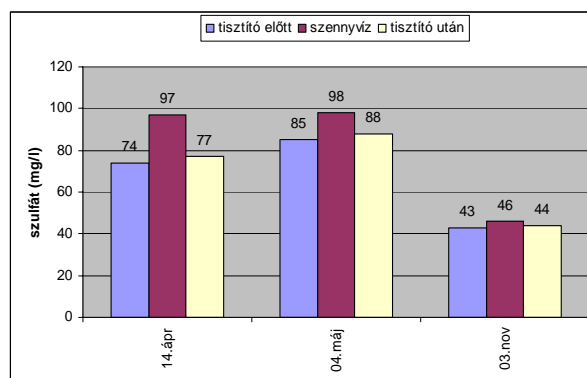
BIOLÓGIAI OXIGÉN IGÉNY MÉRÉSE

A biológiai (biokémiai) oxigénigény (BOI) fontos paraméter a vízgazdálkodásban, a víz minőségének és a szennyvíztisztító fokozatok tisztítóképességének megadására. Lényeges továbbá a szennyvíztisztító telepek tervezésében és méretezésében is.

A biokémiai oxigénigény értéke alapján a vizsgált minta szervesanyag-tartalmának mértékére következtethetünk



3. ábra Ammónium koncentráció mérési diagrammja [9]



4. ábra Szulfát-tartalom mérési eredményei

Összességében megállapítható, hogy a szabvány szerinti minősítés tekintetében a víz ebből a szempontból kiválóan minősíthető [10, 11].

AMMÓNIUM-TARTALOM MÉRÉSE

Az ammóniumion a vizekben a nitrogén-körforgás része, ezért mennyiségének pontos ismerete nagyon fontos. A mérést fotometriásan végeztük. Méréseink során arra az eredményre jutottunk, hogy a vizsgált minta ammónium-ion tartalma kisebb, mint 0,2 mg/l. Ezért ebben az esetben a folyó Magyarországra érkezésénél felépített monitoring állás által mért és rögzített adatokat elemeztük.

Az 3.. ábra az elmúlt 8 hónap adatait mutatja. Vízhányás szempontjából a fenti az egyik legfontosabb elemzendő paraméter. A kapott eredményeink alapján a koncentráció az időintervallum jelentős részében kisebb volt, mint 0,2 mg/l. Ez a határértékek alapján kiváló minősítést jelent. Egy-két kiugró értéktől eltekintve, a többi esetben is a víz jó minősítést kapott, ugyanis a koncentráció nem haladta meg a 0,5 mg/l-t.

SZULFÁT-TARTALOM MÉRÉSE

A szulfát-ion a vizekbe juthat mesterséges (pl: szennyvíztisztító), illetve természetes (kőzetek mállása) úton is.

A tisztított szennyvízben a szulfát-tartalomra kapott értékek magasabbak, mint a folyó vizében mértek, azaz a hígulás révén a koncentráció a határérték alatt maradt.

4.3. Növénnyel való vízminősítés

Két ok miatt foglalkoztunk a növények vizsgálatával:

1. a vizsgálat során a laikus számára nemcsak semmitmondó számadatokat, hanem szemmel látható eredményeket tudunk bemutatni.
2. ez a módszer ugyan lassabb, de nagyságrendekkel olcsóbb az analitikai vizsgálatoknál, szinte semmibe sem került.

Vizsgálat menete:

1. 2 l mintát vettünk a tisztított szennyvízből, a bevezetés előtt- és a bevezetés után a folyó vizéből. Továbbá beszereztünk ugyanennyi mennyiségű desztillált vizet is.
2. A vizsgált növények magvait a tálkákban elhelyezett papírvattára helyeztük, majd egy másikkal letakartuk.
3. Minden edénykét mindig ugyanazzal az összetételű vízzel locsoltuk megfelelő időközönként.
4. Figyeltük a változásokat.

Tapasztalataink:

1. Desztillált víz: A semmilyen tápanyagot nem tartalmazó desztillált vizes borsószemek fejlődtek a legjelentősebb mértékben.
2. Bevezetés előtt: A Berettyó vize már tartalmaz szerves anyagokat, de nagy valószínűséggel sok egyéb más is, amelyek akadályozták a növények fejlődését. Ennek ellenére a növekedés elfogadhatónak tekinthető.
3. Tisztított szennyvíz: Ebben az esetben drámai eredményeket tapasztaltunk. A magokon a csírák megjelenésének még csak a halvány jelenlétét sem láttam. A magok sikamlós tapintásúak voltak és bomlani kezdtek, erősebb behatásra szétestek.
4. Bevezetés után: Minimális csírafejlődés megindult, de méretben a 2. pontban leírtak töredékét produkálták.

Következtetéseink:

1. Az alábbi kísérlet tapasztalatai után világossá vált, hogy a Berettyó vize ma sem kifogástalan, csakúgy, mint a többi felszíni vize sem. Ennek ellenére is élhető közegnek bizonyult.
2. A vizsgálat során kiderült, hogy a szennyvizet hiába tisztítjuk meg számos szennyezőtől nagy hatásfokkal, az attól még élhetetlen közeg marad. Számos komponens marad benne, amit nem tudunk, vagy nem is akarunk kinyerni belőle, költséges folyamatok révén.
3. A bevezető cső utáni vízben a hígulások következtében az előbb tapasztalt káros hatások mérséklődtek, de az itt kapott eredmények is azt igazolják, hogy vízminőség romlott.

Csíráztatási kísérlet földben:

A vizsgálatot elvégeztük úgy is, hogy a magokat földbe vetettük el. Ekkor a növények fejlődése között semmilyen különbséget nem tapasztaltunk. Ebből arra következtettünk, hogy a föld nagy ionmegkötő kapacitásának köszönhetően adszorbeálta a növekedést gátló komponenseket.



1. kép Borsócsíráztatás földben (saját fotó, otthoni kísérlet)

5. TAPASZTALATAINK ÖSSZEGZÉSE

A vizsgálataink során azt tapasztaltuk, hogy a Berettyóújfalui szennyvíztisztító telep által kibocsájtott megtisztított víz minőségromló hatása a Berettyóra nézve minimális. Ezzel az is bizonyosságot nyert, hogy a tisztító megfelelő hatásfokkal működik, valamint a folyóba bocsájtott vízmennyiség kicsi a vízhozamhoz képest, ezért a hígulás mértéke nagy. Figyelembe véve azokat a már korábban taglalt kiváló szennyvíztisztítási hatásfokokat megállapítható, hogy a kezeletlen víz bevezetése drasztikus változásokat indukálna.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **DR. DUNKA SÁNDOR - FEJÉR LÁSZLÓ - DR. PAPP FERENC:** A Közép- Tiszántúl vízi története - Kiadja a Vízügyi Múzeum, Levéltár és Könyvgyűjtemény, Budapest. (2003)
- [2] **DR. DUNKA SÁNDOR - DR. PAPP FERENC:** A Berettyó vízgazdálkodásának és jeges árvízének története - Kiadja a Vízügyi Múzeum, Levéltár és Könyvgyűjtemény, Budapest. (2008)
- [3] **DR. BODNÁR ILDIKÓ:** Vízgazdálkodás és vízminőség védelem II., oktatási segédlet, DEMK, 2009
- [4] Berettyóújfalu szennyvíztisztító telep engedélykérelmi dokumentáció, Berettyóújfalu, 2005.
- [5] **ANDRIKOVICS SÁNDOR - KRISKA GYÖRGY - MÓGA JÁNOS:** A Berettyó vízgyűjtőjének felszínalaktani, hidrológiai és hidrobiológiai vizsgálata
<http://geography.hu/mfk2001/cikkek/AndrikovicsKriskaMoga.pdf>
- [6] Jelentős Vízgazdálkodási Kérdések „2–6–3 Berettyó” elnevezésű tervezési alegység
http://www.vizeink.hu/files/vizeink.hu_0042.pdf
- [7] Berettyó <http://hu.wikipedia.org/wiki/Beretty%C3%B3>
- [8] **PREGUN CSABA – BURAI PÉTER:** A Berettyó folyó környezetgazdálkodási célú vizsgálata
<http://www.date.hu/acta-agraria/2004-13/pregun.pdf>
- [9] Tisza- vízgyűjtő monitoring rendszer <http://www.rivermonitoring.hu/napi.php>
- [10] Felszíni vizek minősége, minőségi jellemzők és minősítés. MSZ 12749:1993
- [11] 220/2004.(VII.21.) Korm. Rendelet: Felszíni vizek minősége védelmének szabályairól

MONTE-CARLO SZIMULÁCIÓS MÁSODRENDŰ VALÓSZÍNŰSÉGI BIZONYTALANSÁGELEMZÉS SZEMLÉLTETÉSE

DEMONSTRATION OF SECOND ORDER PROBABILITY UNCERTAINTY INVESTIGATION BY MONTE-CARLO SIMULATION

MOLNÁR Boglárka¹ – POKORÁDI László²

Debreceni Egyetem

¹ BSc hallgató, DE MK, bogi.molnar@gmail.com

² egyetemi tanár, DE MK, pokoradi@mk.unideb.hu

Kivonat: A matematikai modellek vizsgálatakor fontos elemzési szempont a modellt jellemző paraméterek bizonytalansági kérdése. Több alternatíva ismert a parametrikus modellbizonytalanságok elemzésére, jelen tanulmány a Monte-Carlo szimulációs másodrendű valószínűségi elemzést mutatja be egy egyszerű példán keresztül.

Kulcsszavak: modellbizonytalanság, bizonytalanságelemzés, Monte-Carlo szimuláció

Abstract: Uncertainty analysis of parameters used to characterize mathematical models is of primary importance. Several methods are known to evaluate the parametric model uncertainties of a model. In this work, the second order probability analysis by Monte-Carlo simulation is presented via a simple example.

Keywords: model uncertainty, uncertainty analysis, Monte-Carlo simulation

1. BEVEZETÉS

Ma a rendszerelmélet a „tudományok tudománya”, amelyet minden tudomány segítségével hív alapvető kérdéseinek megválaszolásához és használ konkrét vizsgálataihoz. Azonban egy technikai rendszer, vagy műszaki folyamat vizsgálatának első fontos lépése az elemek, és az állapotuk közötti — sok esetben bonyolult kölcsönhatásokat is jelenthető — kapcsolatok feltárása, illetve annak elemzése, egyszóval modellezése [4].

Azonban a modellezés tudományában rendkívül fontos a bizonytalanság elemzése, amely információt ad a kapott válaszok hibahatáraitól, illetve a modell eredményeinek megfelelő, elfogadható szintjéről.

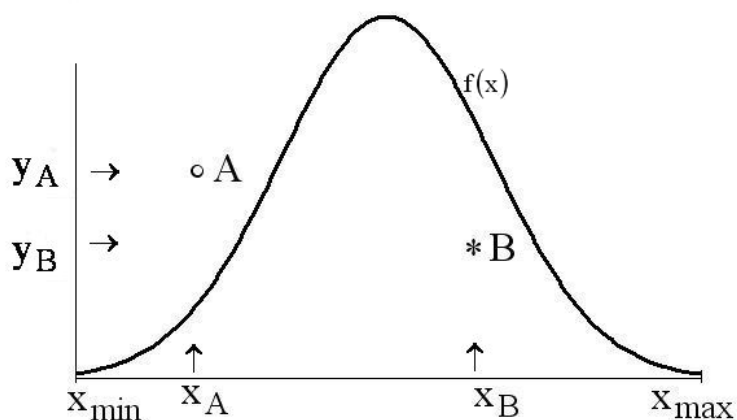
A Szerzők célja, hogy bemutassák a matematikai modellek parametrikus bizonytalanságelemzés fajtáit, azok értelmezését és elemzési eljárásait egy egyszerű, hétköznapi példán keresztül. Jelen cikkben a Monte-Carlo szimuláció alkalmazásával történő másodrendű valószínűségi bizonytalanságelemzés kerül szemléltetésre.

A tanulmány az alábbi fejezetekből áll: A 2. fejezet a Monte-Carlo szimulációt ismerteti, a 3. fejezetben a szemléltetésre kiválasztott mintapéldán ismerhető meg a Monte-Carlo szimulációs másodrendű valószínűségi bizonytalanságelemzés. A 4. fejezetben összegzik munkájukat a Szerzők.

2. A MONTE-CARLO SZIMULÁCIÓ

A Monte-Carlo szimulációs módszert NEUMANN JÁNOS dolgozta ki 1945-ben. Monte-Carlo módszereknek nevezzük a matematikai feladatok megoldásának véletlen mennyiségek modellezését felhasználó numerikus módszereit és azok jellemzőinek statisztikus értékelését. Ez a módszer alkalmas arra, hogy véletlen események sorozatával oldjunk meg determinisztikus problémákat. Lényege, hogy az egyes bizonytalan tényezőkhez rendelt

valószínűség-eloszlások alapján véletlenszerűen választunk ki értékeket, amelyeket a szimulációs vizsgálat egy-egy kísérletében felhasználunk [1].



1. ábra A kiszorítási módszer szemléltetése

A gerjesztések meghatározásához az úgynevezett kiszorítási módszert alkalmazhatunk, melynek lényege, hogy egyenletes eloszlású véletlen szám generátor felhasználásával kiválasztunk a gerjesztési tartományon belül egy x értéket, majd ehhez hozzárendelünk egy szintén véletlen y_x értéket. Az előre meghatározott sűrűség függvény alapján döntünk a generált x számról:

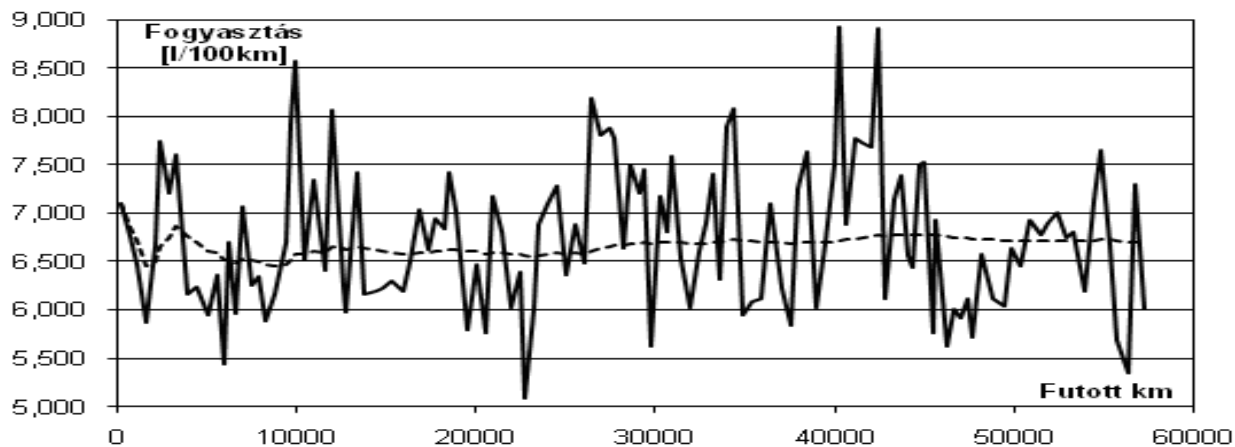
- ha $y_x > f(x)$, „elvetjük” az adott x értéket (lásd **A** pont az 1. ábrán);
- ha $y_x < f(x)$, „megtartjuk” és a szimuláció során, mint input érték alkalmazzuk az adott x értéket (lásd **B** pont az 1. ábrán).

3. MONTE-CARLO SZIMULÁCIÓS BIZONYTALANSÁGELEMZÉS SZEMLÉLTETÉSE

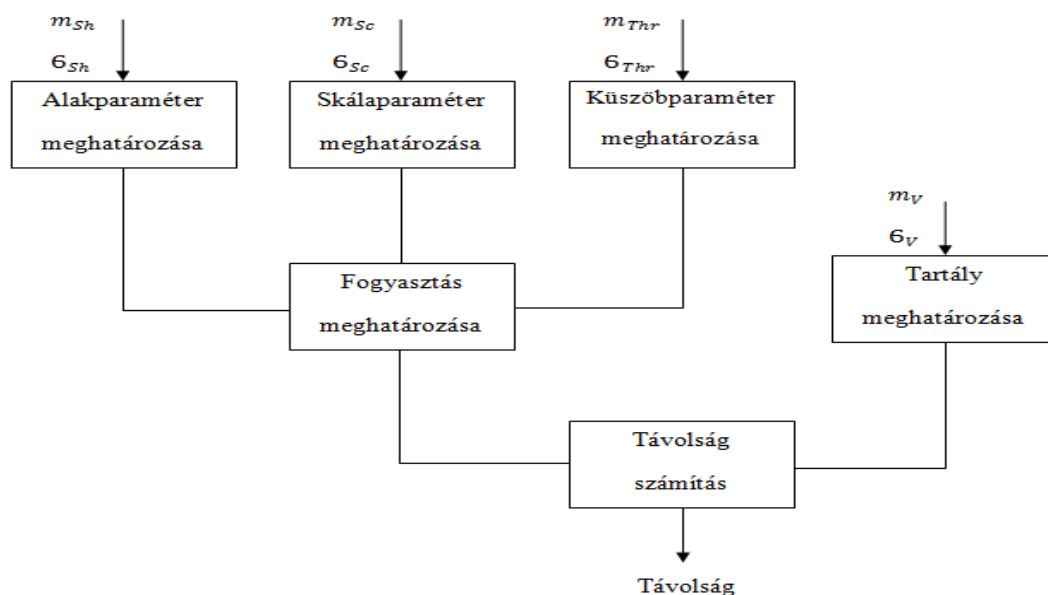
Ha egy folyamat vagy rendszer vizsgálatánál egy azokat helyettesítő modellt alkalmazunk, akkor szimulációról beszélünk. Monte-Carlo (vagy véletlen) szimulációnak nevezzük azt a folyamatot, amikor a szimuláció során véletlenül választott pontokat vagy mennyiségeket használunk.

Modellnek egy egyszerű példát ragadtunk ki a hétköznapiakból, amellyel a gépjárművek fogyasztását lehet modellezni. Röviden „tele tank” módszernek nevezzük, lényege, minden egyes üzemanyag feltöltésnél teletankoljuk az autót, majd a „napi” kilométeróra nullázásával le tudjuk mérni a megtett kilométereket, és meghatározhatjuk az aktuális fogyasztást. A számított és a mért eredmények között eltérések mutatkoztak (2. ábra) [3]. Ezen eltéréseket már korábbi tanulmányokban értelmeztük és elemeztük [2] [3] [5]. A Szerzők jelen dolgozatban a másodrendű valószínűségi bizonytalanság elemzést mutatják be Monte-Carlo szimulációval.

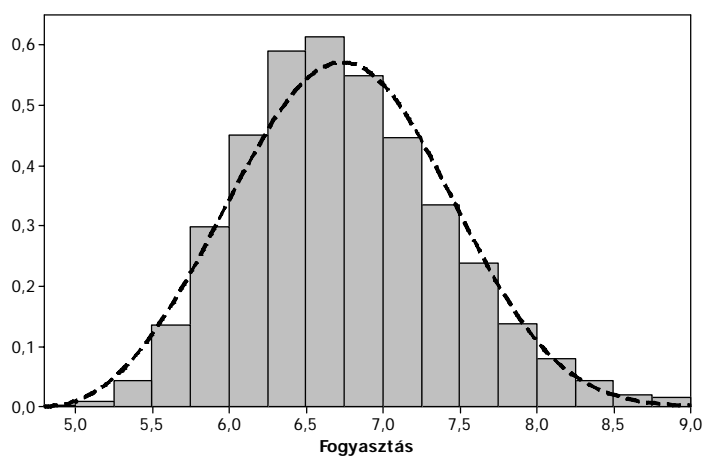
Mekkora távolságot tudunk megtenni egyetlen tankolással? A szemléltetés érdekében erre a bizonytalansági kérdésre koncentrált a figyelmünk. A 3. ábrán látható blokkdiagram ábrázolja a példánkra vett szimuláció menetét.



2. ábra Fogyasztások változása a futott kilométerek függvényében



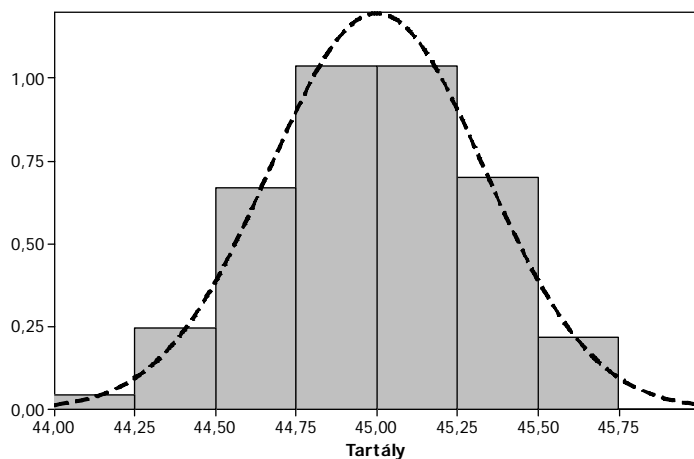
3. ábra A minta példa Monte-Carlo szimulációjának menete



Paraméterek	Érték
Alak	3,23887
Skála	2,19892
Küszöb	4,77427

4. ábra A fogyasztás háromparaméteres Weibull-eloszlása

A feltett kérdés megválaszolása érdekében meghatároztuk az 2. ábra értékei alapján a gépkocsi fogyasztásának, mint modell bemenő jellemzőjének, a háromparaméteres Weibull valószínűségi eloszlása jellemzőinek (normál) eloszlásait (1. Táblázat). A tartály töltöttségét normál eloszlásúnak feltételeztük.



Paraméterek	Érték
Várható érték	45
Szórás	0.333

5. ábra A tartály töltöttségének normál-eloszlása

	Várható érték	Szórás
Alakparaméter	2,097	0,5245
Skálaparaméter	1,117	0,280
Küszöbparaméter	3,175	0,277

1. Táblázat A paraméterek várható értékei és szórásai

Következő lépésként a gerjesztések meghatározásához a — 2. fejezetben már ismertetett — kizorítási módszert használva, végrehajtottuk a Monte-Carlo szimulációt, amely abból állt, hogy véletlenszerűen generáltuk a fogyasztás eloszlásának jellemző három paraméterét, meghatároztuk a gépjármű fogyasztását, a tartály töltöttségét, majd a megtehető távolságot (3. ábra).

A vizsgált rendszer matematikai modellje esetünkben nagyon egyszerű:

$$T = \frac{V}{f} \quad , \quad (1)$$

ahol:

T — a megtehető távolság [km];

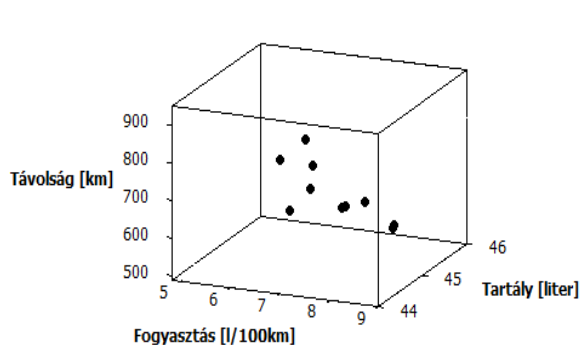
V — az üzemanyag tartály térfogata [liter];

f — fogyasztás [liter/100km].

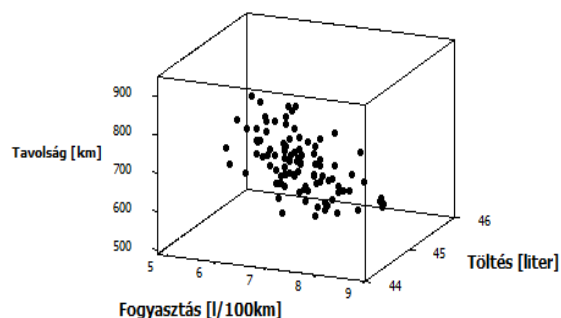
A fenti elemzést elvégeztük 10, 100, 1 000 és 10 000 gerjesztés esetére, melyek eredményeit ábrázolja a 6. ábra. A 7. ábra az elméleti válaszfelületet szemlélteti. Megállapítható, hogy a gerjesztésekkel kapott (eredmény)pontok az elméleti felületen helyezkednek el. A szóródásuk viszont egyértelműen jelzi, hogy a megtehető távolság is egy (nem egyenletes) valószínűségi eloszlással fog bírni.

A kiinduló adatok becslése, valamint a szimuláció elvégzése után meghatároztuk a megtehető távolság eloszlását (8. ábra).

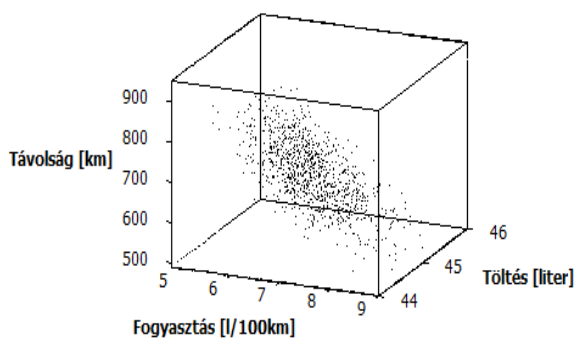
Ez a válasz a feltett kérdésre rendszermodellezési szempontból. Gyakorlati jelentése pedig az, hogy ekkora a valószínűsége, hogy adott távolság megtételekor kifogy a tüzelő anyag a tartályból. Másképpen megfogalmazva, meghatározható, hogy mekkora az esélyünk, hogy az adott célállomásra eljutunk újabb tankolás nélkül.



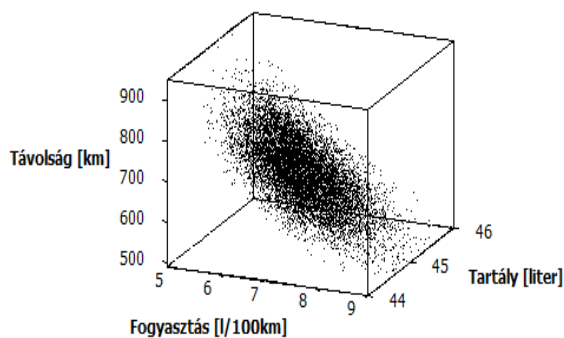
Gerjesztések száma: 10



Gerjesztések száma: 100

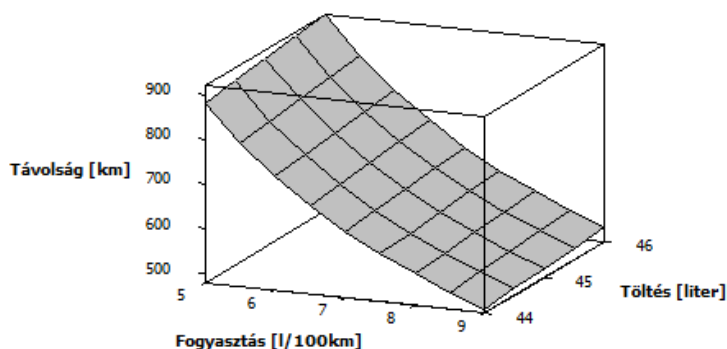


Gerjesztések száma: 1 000

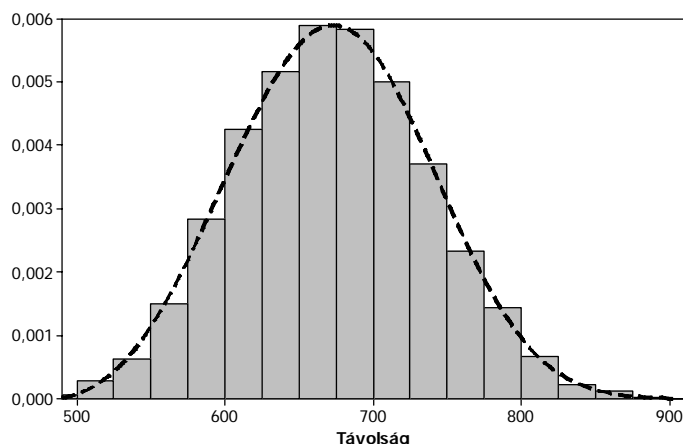


Gerjesztések száma: 10 000

6. ábra A Monte-Carlo szimuláció futási eredményei



7. ábra A megtehető távolság elméleti válaszfelülete Monte-Carlo szimuláció alapján



Paraméterek	Érték
Alak	3,29950
Skála	216,62306
Küszöb paraméter	478,90310

8. ábra A megtehető távolság háromparaméteres Weibull-eloszlása

4. ÖSSZEGZÉS

A tanulmány röviden ismertette a Monte-Carlo szimulációt és bemutatott egy egyszerű modell Monte-Carlo szimulációs másodrendű valószínűségi elemzését. Összegzésként elmondható, hogy ez a bizonytalanságelemzési eljárás rendszermodellezési szempontból alkalmas arra, hogy megoldjuk egy matematikai modell determinisztikus problémáit.

Az utóbbi években a Debreceni Egyetem Műszaki Karán oktatott Rendszertechnika tantárgy keretein belül intenzív kutatómunka folyik annak feltárása céljából, hogy a széles értelemben vett modellezési bizonytalanság kezelés milyen módon oldható meg a leghatékonyabb formában.

A Szerzők munkájuk során olyan tanulmányok elkészítését tűzték ki céljukként, amelyek leírják ezeket a bizonytalanságokat, értelmezik, vizsgálják és szemléltetik a matematikai modellek bizonytalanságainak elemzési módszereit.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BRONSTEJN, I. N., ET AL.:** Matematikai kézikönyv, Typotex, Budapest, 2006, pp. 1209.
- [2] **MOLNÁR BOGLÁRKA:** Gépjármű fogyasztás meghatározásának bizonytalansága — A futott kilométerek kérdése, Műszaki Tudomány az Észak-Alföldi Régióban 2009., p. 179–184. (ISBN 978-963-7064-21-0).
- [3] **MOLNÁR BOGLÁRKA:** Parametrikus bizonytalanságok leírási módjai, TDK dolgozat DE MK 2009. (konzulens: Pokorádi László).
- [4] **POKORÁDI LÁSZLÓ:** Rendszerek és folyamatok modellezése, Campus Kiadó, Debrecen, pp.242. (ISBN 978-963-9822-06-1).
- [5] **POKORÁDI, LÁSZLÓ - MOLNÁR BOGLÁRKA:** Monte-Carlo szimulációs valószínűségi bizonytalanságelemzés szemléltetése, Repüléstudományi Közlemények 2010. április 16. (HU ISSN 1789-770X) pp.12, http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2010_cikkek/Pokoradi_L-Molnar_B.pdf.

ALLOTRÓP ÁTALAKULÁS SEJTAUTOMATA SZIMULÁCIÓJÁNAK SKÁLÁZÁSA

THE SCALING OF A CELLULAR AUTOMATON SIMULATION OF ALLOTROPIC TRANSFORMATION

GYÖNGYÖSI Szilvia¹, Dr. BARKÓCZY Péter², TÓTH Anita³

¹PhD hallgató, ²adjunktus, ³BsC halgató

Miskolci Egyetem, Anyagtudományi Intézet

gyongyosi_szilvia@citromail.hu, peter.barkoczy@gmail.com, tanita1988@gmail.com

Kivonat: Az allotróp átalakulás szilárd állapotban végbemenő rövidtávú diffúzió által vezetett heterogén, csíráképződéses, csíranövekedéses folyamat. A vasnak, az ónnak, a titánnak és az uránnak ismertek különböző allotróp módosulatai. Gyakorlati szempontból tekintve jelentősége a vas allotróp átalakulásának van, ami az átalakulás során bekövetkező mikroszerkezet megváltozását illeti. Ahhoz, hogy ez a változás nyomon követhető legyen, gyakorlati szempontból nagy jelentőséggel bír az átalakulás szimulációjának megvalósítása. Rövidtávú diffúziós folyamatok modellezését tekintve, az úgynevezett sejtautomata-módszer terjedt el, mint időben és térben dinamikus diszkrét modell. Az automata két dimenzióban egy szabályos négyzetes rácsszerkezeten működik. Az egyes sejtek közötti kapcsolatok, és a peremfeltételek megfogalmazásával, a megfelelő állapothatározók és az állapotváltozási szabályok együttes alkalmazásával az allotróp átalakulási folyamat hatékony szimulációja hozható létre. A szimulációs eredmények skálázásával a modell technológiai tervezésbe való illesztése is megoldható.

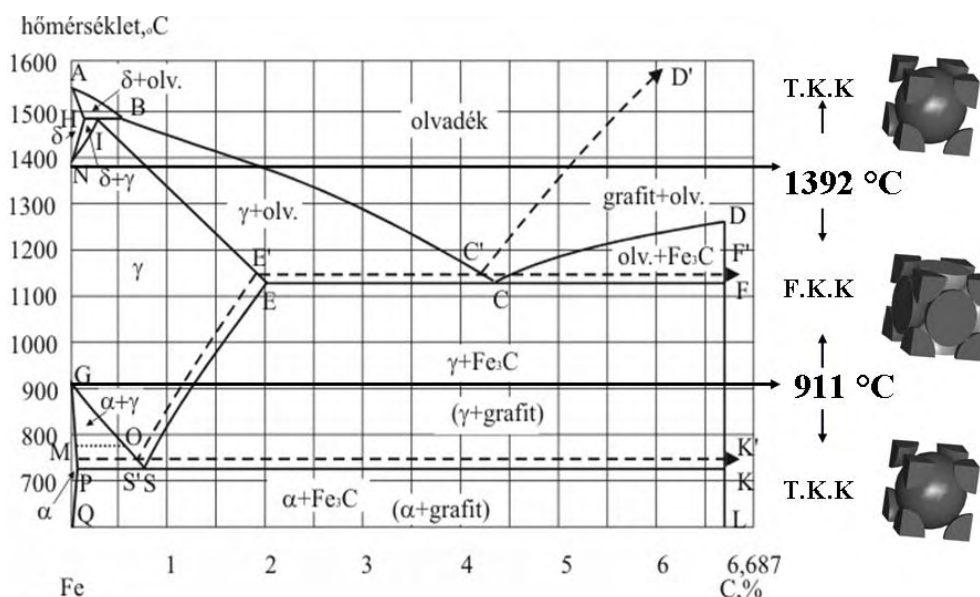
Kulcsszavak: allotróp átalakulás, sejtautomata, szimuláció, rövidtávú diffúziós folyamat

Abstract: The allotropic phase transformation is a phase transformation process driven by short range diffusion. This phase transformation takes place by nucleation and growth of the nuclei. For the iron, tin, titanium and uranium have different allotropic forms. In technological process only the iron has significance. Cellular automata are a discrete, dynamic system in three dimensions and in time. It is necessary to generate a regular squared grid (universe) and define the neighbors. Furthermore, it must be generating boundary conditions, define the state parameters and the rules of state transitions. With these the process of the allotropic transformation can be simulated. The scaling of simulation results makes usable the automaton in the examination of the technological processes.

Keywords: allotropic transformation, cellular automaton, simulation, short range diffusion

1. ALLOTRÓP ÁTALAKULÁS

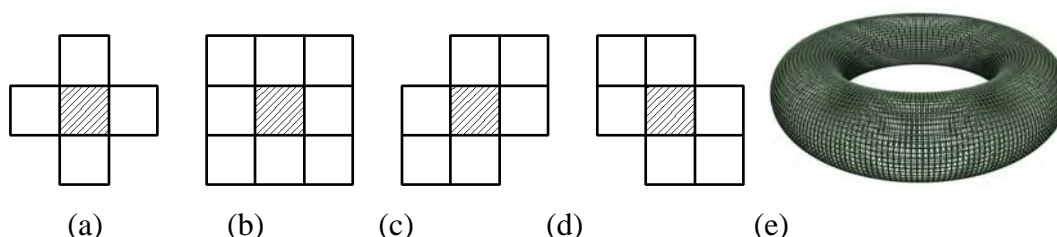
A fémek tulajdonságait jelentősen meghatározza a kristályszerkezetük. Egyes fémek – mint a vas, a titán, az ón, illetve az urán - közös jellemzőjük, hogy bizonyos fizikai paraméterek (hőmérséklet, nyomás) megváltozásával, a kristályszerkezetük is megváltozik. Az említett fémek közül gyakorlati szempontból nagyobb jelentősége a vasnak van. A vasnak légköri nyomáson két allotróp módosulata ismert. A hőmérséklet növekedésével először 911°C-on az addig térben középpontos kockarácsú α -vas felületen középpontos kockarácsú γ -vassá alakul át, fajtérfogat csökkenés és mikroszerkezeti változás kíséretében. A következő átalakulás 1392°C-on megy végbe, amikor a felületen középpontos kockarácsú γ -vas atomjai a fázishatár átlépésével ismét a térben középpontos kockarács megfelelő helyeire kerülnek vissza. A termikusan aktivált folyamatban az első átalakulás folyamán megkezdődik az α -vasban a γ csírák képződése, majd az atomok fázishatáron történő átlépésével ezen csírák növekedése. A következő átalakulásnál hasonló folyamat kíséretében a γ -vas visszaalakul α -vassá. [1]



1. ábra Fe-C diagramm, C=0 koncentrációjánál a szénvas átalakulási hőmérsékletei

2. A SEJTAUTOMATA

A sejtautomata egy térben és időben dinamikus működésű véges állapotú automaták hálózata [3]. Léteznek egy-, két-, illetve háromdimenziós rácsszerkezetet, amely rácsszerkezet az azonos elemekre felosztott teret jelentik. Ezek az egymással teljesen azonos rácselemek a sejtek, amelyeket az állapotuk jellemeznek. Minden sejtnak a véges sok állapotok halmazából legalább egy állapottal rendelkeznie kell, amely állapotot minden sejtautomata lépésben felülvizsgálva (szinkron automata) [2], illetve a vizsgált sejt környezetének (szomszédjainak) állapotát is figyelembe véve állapotváltozási szabályok alkalmazásával együttesen határozza meg, hogy mi lesz a sejt új, következő állapota.

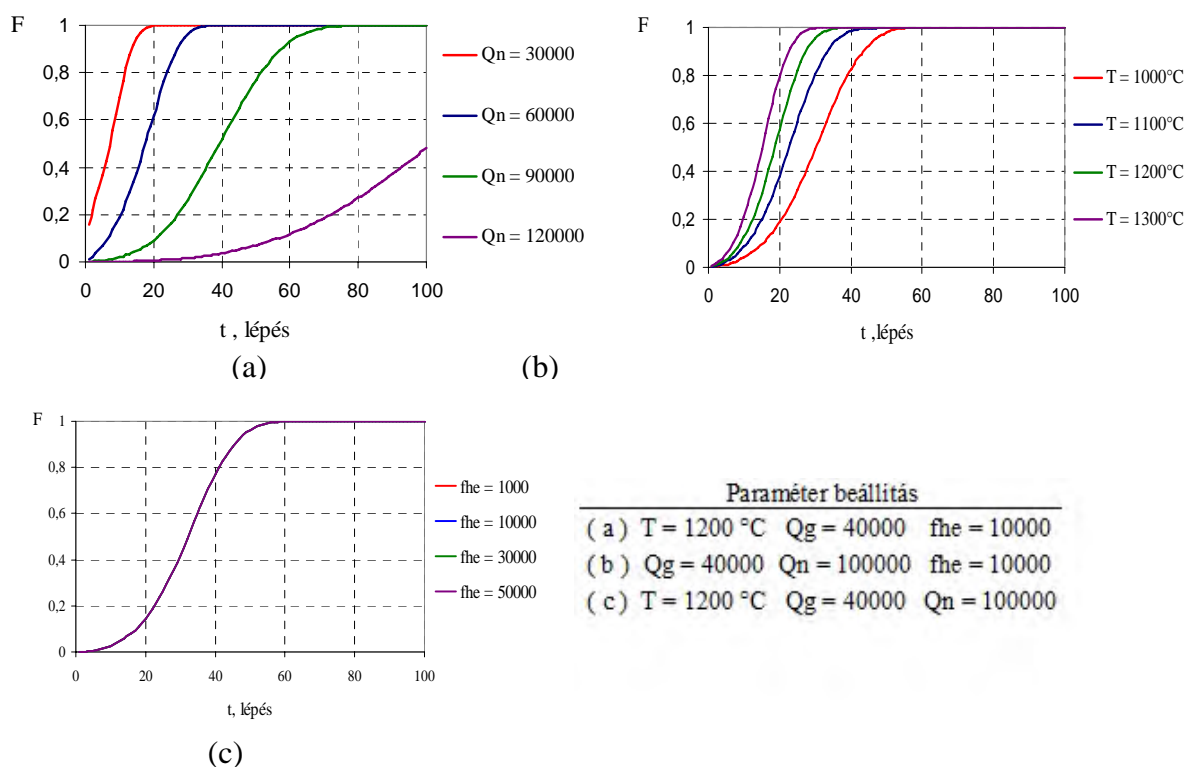


2. ábra (a) Neumann-, (b) Moore-, (c,d) Alternáló 7-es szomszédság, (e) Kétdimenziós periódikus határfeltétel

A sejt környezetének meghatározása különböző elvek szerint történhet. A Neumann elv (2.a ábra) szerint a sejt négy oldaléle(i) mentén elhelyezkedő szomszédokat veszi figyelembe. A négy oldalél(ek) mentén a sarokpontban elhelyezkedő sejtek is a vizsgált sejt szomszédjai lesznek a Moore-féle (2.b ábra) szomszédság meghatározása alapján. Két dimenzióban elterjedt még az alternáló 7 elve, amely minden automata lépésben felváltva alkalmazza a 2.(c,d) ábrán feltüntetett elrendezéseket. A rácsszerkezet szélein elhelyezkedő „hiányzó” szomszédság problémája az úgynevezett kétdimenziós peremfeltétel alkalmazásával kiküszöbölhető (2.e ábra) [4].

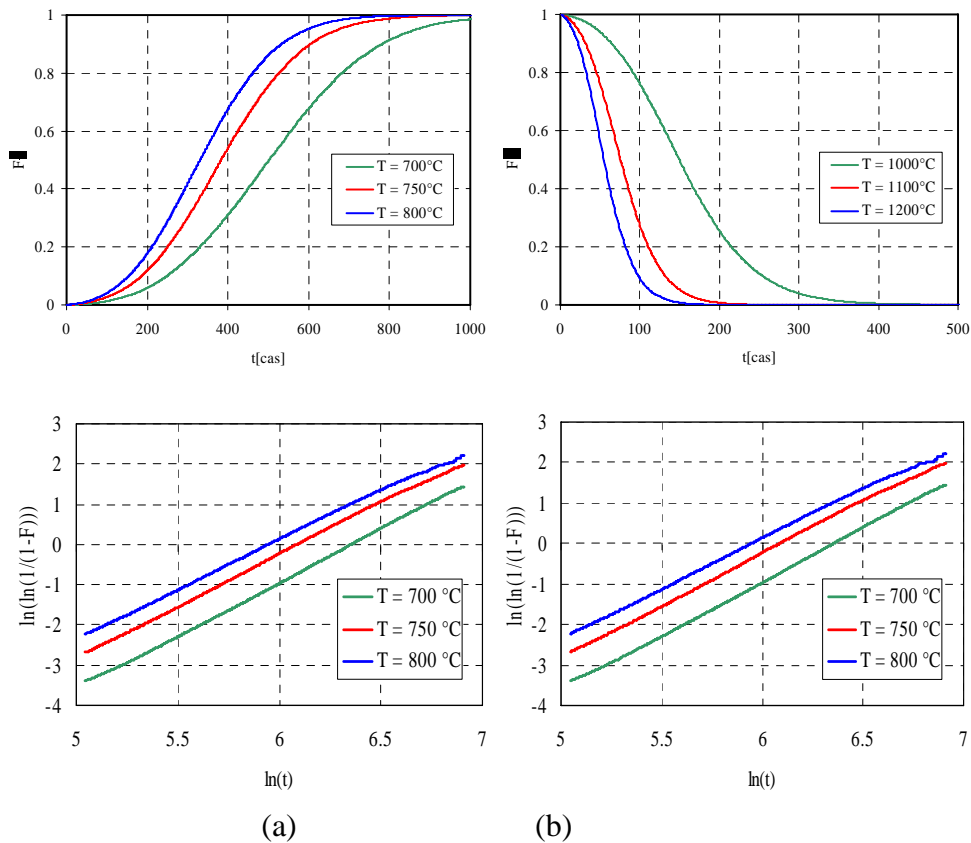
3. ALLOTRÓP ÁTALAKULÁS SZIMULÁCIÓJA

Allotróp átalakulás során a szemcsehatár, illetve a fázishatár mozgása az atomok határon történő átlépésével megy végbe. Ezen határon lévő atomok energia állapota a közvetlen környezetének függvénye, mint ahogy az átlépés valószínűsége, azaz a határmozgás sebessége is. Az allotróp átalakulási folyamat, illetve az automata ezen közös jellemzőjét kihasználva, a folyamat sejtautomata módszer elvén működő hatékony szimulációját hozhatjuk létre [5]. Az allotróp átalakulás folyamatát szimuláló szinkron, sztochasztikus [] automata 400x400-as sejteret kezel. Az egyes sejtek környezetének meghatározása a Moore elv szerint történt. A sejtter a peremfeltételnek megfelelően egy tórusz felülete mentén működik. A különböző kristálytani orientációkat véletlenszerű színek jelenítik meg. Adott automata lépésben attól függően, hogy fázisról, vagy szemcséről van szó a sejt szemcsehatár energiával, vagy fázishatár energiával, hajtóerővel és termikus energiával rendelkezhet. Állapotváltás következik be, ha a sejt összes energiája nagyobb, mint a szóban forgó folyamat aktiválási energiája. A következő lépésben mivel a hajtóerejét, illetve a termikus energiáját elveszti fázishatár energiával, vagy szemcsehatár energiával rendelkezik, ami nem zárja ki azt a lehetőséget, hogy ez megegyezik az előző állapot energiájával. A szimuláció tesztelésének eredményeit mutatja a 3. ábra. Az átalakult hányad (F) változása különböző csíráképződési aktiválási energia (Q_n), hőmérséklet (T) és fázishatár energia (fhe) értékek függvényében jól követhető a görbéken.

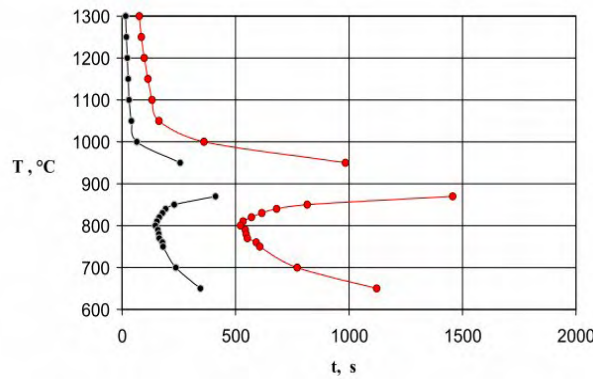


3. ábra (a) Csíráképződés aktiválási energia, (b) hőmérséklet, (c) fázishatár energia hatása az átalakult hányadra. (Qg a csíranövekedés aktiválási energiája.)

Ha a sejtautomata szimuláció által kapott eredményeket vizsgáljuk látható, hogy az automata tükrözi az allotróp átalakulás folyamatát és az így kapott eredmények követik az Avrami kinetikát. A kapott eredményekből az átalakulási diagramot felvettük (5. ábra).

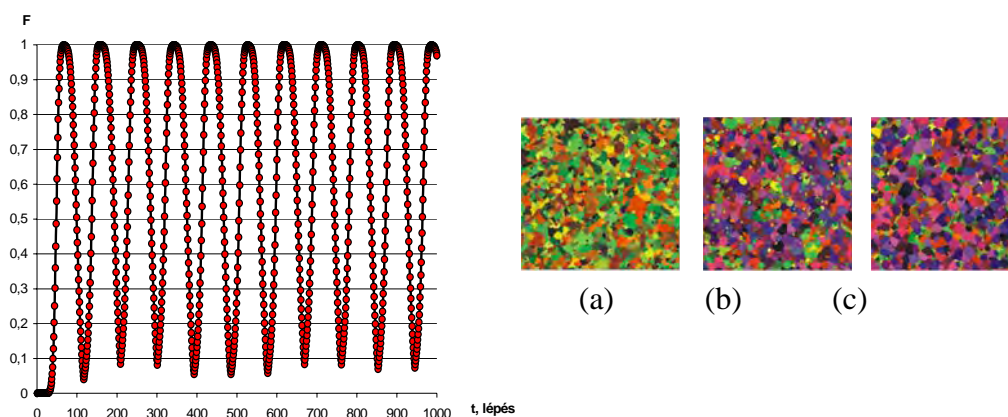


4. ábra Átalakult hányad változása, Avrami kinetika (a) $\alpha \rightarrow \gamma$ és (b) $\gamma \rightarrow \alpha$ átalakulás esetén



5. ábra Átalakulási diagram

Vizsgáltuk az allotróp átalakulás folyamatát folyamatos hevítések ($825^\circ\text{C} \rightarrow 1100^\circ\text{C}$) és hűtések mellett ($1100^\circ\text{C} \rightarrow 825^\circ\text{C}$). A 6. ábrán látható, hogy adott időegység alatt, hogyan változik az átalakult hányad, illetve az egyes lépéseket kiemelve (200., 500. és a 800. lépésben) hogyan változik a szemcseszerkezet. Megfigyelhető, hogy mindig marad olyan rész amely nem alakul át, mert nincs idő az összes terület átalakulására a folyamat során ami megfelel a valóságban tapasztaltaknak.

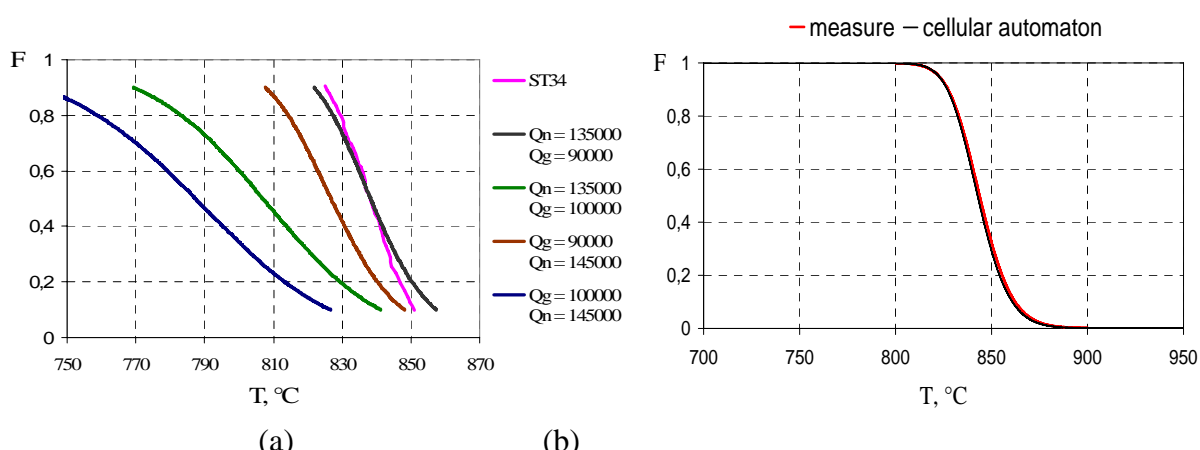


6. ábra Az átalakult hányad változása folyamatos lineáris hűtés és hevítés mellett
(a) a 200. lépésben, (b) az 500. lépésben, (c) a 800. lépésben

4. ILLESZTÉS, SKÁLÁZÁS

A szimuláció gyakorlati alkalmazása szempontjából, hogy az a technológiai tervezésben használható legyen az automata skálázását végeztük el. Ugyanis a szimulációban az időt sejtautomata lépésben számítjuk, míg a méretek sejtegységeket jelentenek. Abban az esetben, ha egy automata lépés az adott, úgy a szimuláció által számított szerkezeten a távolságok skálázhatók.

ST34 anyagminőségű kis karbon tartalmú acél dilatációs vizsgálat útján felvett görbéjére a szimuláció által számított eredményeket különböző paraméter beállítással illesztettük (8.a ábra). A csíráképződési aktiválási energia értékének változása a görbe helyzetére, a csíranövekedés aktiválási energia értékének változása a görbe meredekségére van hatással. Ezt kihasználva, a szimulációs paraméterek változtatásán alapuló Nelder-Mead szimplex eljárással illesztjük a szimuláció eredményeit a kis karbon tartalmú acél dilatációs méréseiből származó eredményére [6].

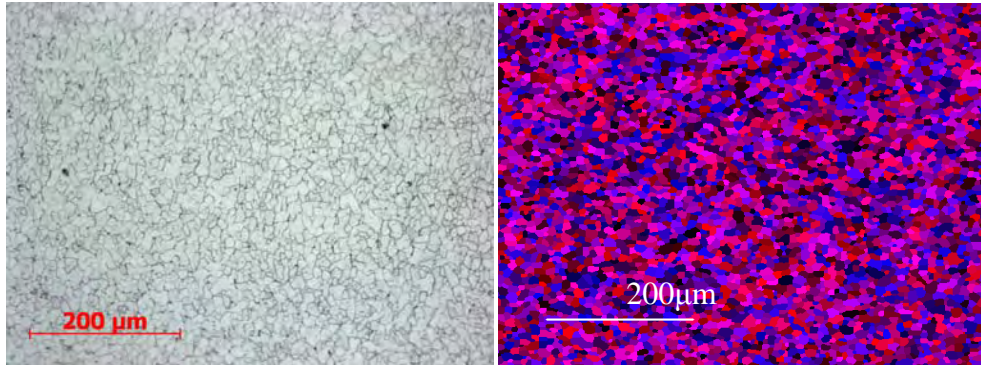


7. ábra (a) Szimulációs görbe illesztése ST24 acél mérési eredményére (Q_n - csíráképződési aktiválási energia, Q_g - csíranövekedési aktiválási energia),
(b) illesztés Nelder-Mead szimplex algoritmussal

ST34 0,04% karbon tartalmú acél mikroszkópi felvételeit, valamint a sejtautomata által

számított eredményeket mutatja 8. ábra.

Mind a mért szemcseszerkezeten, mind a számított szerkezeten az átlagos szemcseátmérőt megmértük így meghatározható, hogy egy sejt a valóságban mekkora méretű. A skálázáshoz egy automata lépést egy másodpercrek vettünk.



8. ábra (a) ST34 acél mikroszerkezete, (b) szimulációval számított szerkezet

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **TISZA M.:** Metallográfia. Miskolci Egyetemi Kiadó. (2006)
- [2] **SCHÖNFISH B., ROOS A.:** Synchronous and asynchronous updating in cellular automata, BioSystems, 1999.
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_automaton
- [4] **LEMONT B. KIER, PAUL G. SEYBOLD, CHAO-KUN CHENG:** Cellular-automata Modeling of Chemical systems, Springer.
- [5] **PORTER A. K., EASTERLING K. E.:** Phase Transformation in Metals and Alloys, Chapman & Hall, London, 1996
- [6] [http://en.wikipedia.org/wiki/Nelder%E2%80%93Mead_method]
- [7] **VERŐ J., KÁLDOR M.:** Fémten, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest,

ÉPÍTÉSI ÜVEGEK TISZTASÁGI KÉRDÉSEI

QUESTIONS ABOUT CLEANNESS OF BUILDING GLASSES

BENE Zsuzsanna* – PANKHARDT Kinga**

Debreceni Egyetem Műszaki Kar

Építőmérnöki Tanszék

* hallgató, bene.zsuzsanna89@gmail.com

**főiskolai docens, kpankhardt@yahoo.com

Kivonat: Az emberek idejük jelentős részét munkahelyükön, közösségi, nagy tömegeket befogadó épületekben töltik. Napjaink fertőző betegségektől zsúfolt világában nagy gondot kell fordítanunk a higiéniai előírásokra, a megfelelő tisztaság fenntartására, a fertőzések elleni védelemre. A szennyeződések, kórokozók, vírusok, gombák ellen folytatott harcban mára már az építőipar is fel tudja venni a „kesztyűt”. Két olyan üvegtípus jelent meg immár a hazai kereskedelemben is, melyek ezen problémák megoldásában nyújtanak segítséget. Az egyik az öntisztuló, a másik az antibakteriális üveg.

Kulcsszavak: üveg, öntisztuló üveg, antibakteriális üveg, baktérium

Abstract: People spend significant part of their time at the workplace, or at crowded community or hosting buildings. In today busy world with infectious diseases, great care must be taken with hygiene standards, proper maintenance of cleanliness and protection against infections. Struggle against the contaminants, pathogens, viruses, fungi, the construction industry are now in position to take the "gloves". Two types of glasses appeared on the domestic trade, which can help to solve these problems. One type is the self-cleaning glass and the other is the antibacterial glass.

Keywords: glass, self-cleaning glass, antibacterial glass, bacterium

1. BEVEZETÉS

Az építőiparban egyre elterjedtebb, hogy nem csak az épületek homlokzatán jelennek meg a nagy transzparens üvegfelületek [1], hanem a belső terek esztétikáját is ezzel az építőanyaggal kívánják növelni.

Az emberek idejük jelentős részét munkahelyükön, közösségi, nagy tömegeket befogadó épületekben töltik. Napjaink fertőző betegségektől zsúfolt világában nagy gondot kell fordítanunk a higiéniai előírásokra, a megfelelő tisztaság fenntartására, a fertőzések elleni védelemre. A szennyeződések, kórokozók, vírusok, gombák ellen folytatott harcban mára már az építőipar is fel tudja venni a „kesztyűt”. Két olyan üvegtípus jelent meg immár a hazai kereskedelemben is, melyek ezen problémák megoldásában nyújtanak segítséget. Az egyik az öntisztuló, a másik az antibakteriális üveg.

2. ÖNTISZTULÓ ÜVEG

Az elmúlt évszázadtól kezdve előtérbe kerültek a nagyméretű üvegfelületekkel kialakított architektúrák [2, 3], melyek akkor érik el kívánt hatásukat, ha a kilátás és a külső megjelenés egyaránt kifogástalan, legyen szó irodaház, télikert vagy családi ház ablakáról. Ez eddig csak akkor volt lehetséges, ha a felületet gyakran tisztították, hiszen a városok fejlődése, az iparosodás következtében a levegőbe kerülő szennyezőanyagok és por a vízszintes és függőleges felületeken egyaránt leülepednek [4] (1, 2 ábrák).

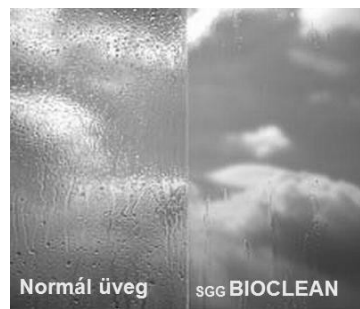


1-2 ábrák Elhanyagolt metrólejáró (Bécs) és üvegház tető (1.), (2.)

A felhőkarcolók üvegezésének tisztítására rengeteg pénz, idő és energia fordítódik, mivel ezek rendszerint az adott nagyváros jelképei (3. ábra), de problémát jelent a felhasznált tisztítószer mennyisége, környezetre gyakorolt hatása, a tisztítás során bekövetkező balesetek száma és nem utolsósorban a biztonságos tisztítási segédszerkezetek tervezése, költsége.



3. ábra NEW YORK-World Trade Center Északi torony ablakainak tisztítása (3.)



4. ábra Különbség az esőáztatta normál és öntisztuló üveg között (4.)

Az üveg könnyebb tisztíthatóságára irányuló kísérleteket a 90-es évek elején kezdték meg angol tudósok, akik a környezetbarát „vékony film” technológiában látták a probléma megoldását. Rátaláltak egy, már több ipar által (élelmiszeripar, kozmetikai ipar: fogkrémek, naptejek) alkalmazott fehér porra, a titánium-dioxidra. Mivel a fehér por az üvegfelületet átláthatatlanná tenné, így hajszálvékony vastagságban (15 nanométer) alkalmazták a felületen az anyagot. Így, azon már át lehetett látni, csakúgy, mint a normál üvegen, és egyéb tulajdonságai – úgymint mechanikus, termikus és akusztikus tulajdonságok – sem mutattak különbséget a két üvegfajta között [5, 6].

Míg az esőnyomok és szennyeződések a hagyományos üvegfelületeken felhalmozódnak, addig a titánium-dioxiddal bevont üvegek a nap UV sugarainak és a víz hatásának a felhasználásával eltávolítják felületükről azokat.

2.1. Működési mechanizmus

Az öntisztuló (ún. „coating”) folyamat két fázisból tevődik össze.

Az első fázisból, amikor a nap UV sugarait magába szívó felületen az ún. fotokatalitikus (légtisztító) hatás [7] révén kémiai reakció indul el, melynek során a levegőben jelen lévő organikus szennyeződés részecskéi (rovarpetetek, szerves légköri szennyeződések), a járművek által kibocsátott és ipari eredetű égéstermékek, pollenek, valamint a nem ásványi eredetű porszennyeződések felbomlanak és feloldódnak.

A második fázis során az üvegre jutó eső és nedvesség egyenletesen eloszlik, vékony

vízbevonatot alkotva a felületen. A csapadékvíz a hidrofiliikus (vízfellevő) hatás következtében könnyen eltávolítja a felületen lévő, előzőleg már felbomlott maradványokat, feloldódott szennyeződések és ásványi port.

Az öntisztuló hatás nagymértékben függ a szennyeződés természetétől, mértékétől, az üveget ért megvilágítás, és eső időtartamától illetve az üveg dőlésszögétől [5, 6].

2.2 Tulajdonságok

Az öntisztuló üveg praktikusságán túl optikai előnyöket is nyújt: a bevonat miatt [8] enyhén nagyobb az üveg tükröződési hatása, ami halványan kékes fényűnek láttatja a felületet. A bevonat stabilizálása UV fénnel történik, így hosszú éveken keresztül biztosított a kristály tiszta kilátás. Az átlátszóság mértéke csak 1-2%-kal romlik, tehát gyakorlatilag semmit nem veszünk észre az új technológiából. A felület csillogó lesz, és ellenáll a további fénytörést okozó hatásoknak (kopás, homályosodás, stb.), mivel elnyeli az UV sugárzást, ami a bevonatok színét fakítaná.

A víz az üvegen nem formál cseppeket, hanem szétterül (4. ábra). A vízréteg a hagyományos üveghez képest gyorsan felszárad, ami után még „esőnyomok” sem maradnak az ablakon.

A felület igen tartós, csak akkor károsodhat, ha maga az üveg is megsérül [9, 10], például hegyes, dörzsölő hatású tárgyak (pl. penge, drótkéfe, kés, ékszerek, csatok, kapcsok, mérőszalag, szike, súrolópárna, csiszolópapír, stb.), súrolószer, dörzsölő tisztítóeszközök, víztaszító hatású termékek, acélgyapot és hasonló behatások következtében. Kerülni kell szilikonokkal (tömítés, spray, tapadókorong, kesztyű által), valamint dörzsölő hatású részecskéket tartalmazó üvegápolási termékekkel való közvetlen érintkezést [5, 6].

A szilícium bázisú alapanyag a többi hasonló bevonattól eltérően lehetővé teszi a bevonat felújítását, így nem kell 3-4 év múlva üveget cserélni.

Az öntisztuló üveget azzal a céllal hozták létre, hogy hosszabb ideig tisztább maradjon, mint a hagyományos üveg. A hagyományos üveghez képest kevesebb karbantartást igényel, tisztítását a természeti tényezők végzik el, egyéb tulajdonságai pedig nem változnak. Éppen emiatt a nehezebben megközelíthető, nagy üvegfelületű épületekhez ajánlott, olyan helyekre, például ipari parkokba, repülőterek környékére, ahol jelentős szennyeződésekkel kell számolni. Természetesen mindenféle környezetben alkalmazható, így lakóépületek üvegezéséhez, homlokzatokra, melegházakra is.

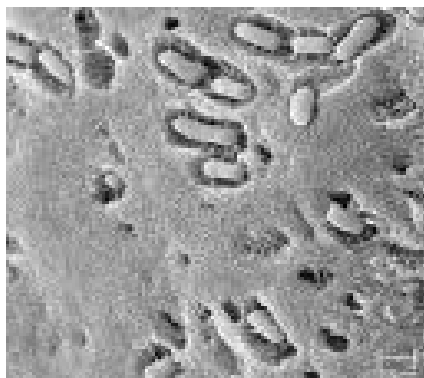
15-20 százalékkal kerül többbe, mint a hagyományos üveg, ám nemcsak a takarításban jelent könnyebbé, hanem több járulékos haszna van. Már szó volt róla, hogy nem kerül a környezetbe mosószer, ritkábban kell tisztítani. Ráadásul a koszbontó folyamat a baktériumokat is elpusztítja, sőt lebontja a levegőben szálló egyéb káros anyagokat, például a formaldehidet és az ózont. A szennyeződés kevésbé tapad meg a felületen, így karbantartása könnyebb. Mindezen kívül a feltalálók hangsúlyozzák, hogy csökkent a üveg tisztításával kapcsolatos költségeket, valamint a létrás balesetek számát, hiszen ezeket az ablakokhoz nem kell felmászni, elég vízsugarat locsolni rájuk.

3. ANTIBAKTERIÁLIS ÜVEG

Az üvegfelületekre nem csak por kerülhet, hanem biológiai szennyeződés pl.: baktériumok, vírusok, gombák stb. is. Főként a közösségi épületek esetén lehet követelmény a felületek baktériummentes tisztasága.

Sok kórházban szerzett, úgynevezett kórházi eredetű bakteriális fertőzés megelőzhető lenne. A jobb higiéniai gyakorlatok, mint pl. alapos kézmosás, kulcsfontosságúak, de

önmagukban nem tudják megoldani a problémát. Az egészségügyi szakértők és vezetők egyre inkább más eszközöket, többek között építészeti megelőzési módokat is keresnek, amelyek segítséget jelenthetnek [11, 12].



5. ábra Baktériumok mikroszkópos felvétele (5.)



6. ábra Pseudomonas lenyomatok kísérlet közbeni állapotfelvétele

A 21. századi emberek számára egyre fontosabbá válik a saját egészségük. Rohanó, szennyezett világunkban több baktériummal (5. ábra) kerülünk kontaktusba, melyek egyre ellenállóbbak az orvosaink által kifejlesztett gyógyszerekkel szemben. A mikro-organizmusok többsége veszélyes az emberi szervezetre, némelyik jelentősen befolyásolhatja az egészségünket, például: *Lysteria*, *Escherichia coli*, MRSA, ESBL, Influenza, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aereginosa*, *Candida albicans*, *Aspergillus niger*. Sok középület szolgáltatásait igénybe vesszük, szállodákba, étkezdékbe, kórházakba, sportlétesítményekbe járunk, ahol az emberi szervezett fokozottan ki van téve a kórokozók, baktériumok hatásainak.

A kutatók vizsgálatai szerint mindössze 5 másodperces kontaktus a szennyezett felülettel elég ahhoz, hogy az azon megtalálható baktériumok 99, 9 százalékát az érintkező bőrfelület felvegye.

Mivel az antibakteriális üveg elpusztítja a felületére kerülő baktériumok 99,9 százalékát, így nagy szerepet kaphat a felületi bakteriális terhelés csökkentésében olyan helyeken, ahol steril környezetre van szükség (főleg izolációs, sterilizációs szobák).

3.1. Működési mechanizmus

Mint sok nagy találmány esetén, az előfeltevés itt is egyszerű. Az üveg antibakteriális hatása az ezüstön alapul. Az ezüst baktériumölő hatásának anekdotikus bizonyítéka a római időkre nyúlik vissza. Észrevették, hogy a római hadsereg tisztjei általában jobb egészségnek örvendtek, mint a közkatonák. Ennek egyik oka az lehetett, hogy a római tisztok ezüst evőeszközöket használtak, míg a közkatonák közönséges fémet. Az ezüst tulajdonságaival kapcsolatban kiterjedt kutatások bizonyítják, hogy valóban erőteljes antibakteriális hatása van.

Ezüstionokat diffundáltatnak az üveg felső rétegeibe, ahol az ionok kölcsönhatásba lépve a felületre kerülő baktériumokkal, elpusztítják azokat, megbénítva az anyagcseréjüket és megzavarva osztódási folyamatukat.

A DE Mikrobiológia Intézetében AB üvegekkel folytatott előkészítő kísérletet végeztünk Dr. Kónya József vezetésével. A 6. ábrán bal oldalon a lakkozott, jobb oldalon az AB üvegről származó *Pseudomonas* lenyomatok kísérlet közbeni állapotfelvétele látható.

Az AB üveg felületére koncentráltan felvitt baktériumtelepek esetén az antibakteriális hatás több tényezőtől is függ pl. koncentráció és idő. A felülettel közvetlenül érintkező baktériumoknál hatékonyabban fejtette ki hatását.

Az üveg baktérium- és gombaölő hatása folyamatos (éjjel, UV sugárzás nélküli is működik), különösképpen olyan helyeken érdemes alkalmazni, ahol a meleg és nedves környezet kedvező a baktériumok és a penész számára (akár fürdőszobákban is). A réteg olyan kis koncentrációban tartalmaz ezüstöt, hogy szabad szemmel nem vehető észre a különbség az AB és a sima üveg között. Ez az ezüstmennyiség az emberi szervezetre nem ártalmas.

Nem tünteti el magáról a maradványokat (nem öntisztuló), viszont könnyen takarítható, jól ellenáll a tisztító szereknek [11].

3.2. Alkalmazási területek

Az üveget mindenfajta felületre lehet alkalmazni, az üvegezéstől a falburkolaton át a tükörig. A szállodákban és éttermekben az igényes vendégek értékelik az újdonságokat, a modern belső tereket. Az AB termékek kombinálva a modern kivitelezéssel pluszszolgáltatást nyújtanak a vendégeknek. A szállodák fürdőszobái vannak leginkább kitéve a baktériumoknak és gombáknak.



6. ábra 'Saint Ivan Rilsky' kórház Stara Zagora városban, Bulgáriában (6.)



7. ábra Saint Pierre Unit 900 Klinika Ottignies-ben, Belgiumban (6.)

A másik leginkább érintett csoportot az egészségügyi létesítmények jelentik, hiszen a már amúgy is megterhelt szervezetű, legyengült immunrendszerű személy sokkal könnyebben kap el más fertőzéseket is. Európa több mint 400 kórházat számlál, ahol a kórházi fertőzések kritikus számban fordulnak elő, tehát igény van az AB anyagokra a fertőzések megelőzésében.

Az AB üveg alkalmazása azokon a területeken ajánlott,

- ahol törődnek az egészséggel (létfontosságú a baktériumok jelenlétének csökkentése),
- ahol sok ember érintkezik ugyanazzal a felülettel (csökkenteni a szennyezettséget),
- ahol az emberek igénylik a nagyfokú higiéniát és tisztaságot (bacteriophobia),
- étkezdék, konyhák (különböző ételmérgezések és fertőzési lehetőségek),
- WC-k,
- Szállodák és éttermek,
- Várótermek, stb.,
- párás helyiségekben, ahol a baktériumok és gombák gyorsabban fejlődnek
- fürdőszobák és zuhanyzók,
- egészség centrumok,

- sportcsarnokok és zuhanyzók,
- uszodák, stb., illetve
- ahol speciális higiéniai kívánalmaknak kell eleget tenni
- kórházak (6. ábra), hematológia, onkológia és geriátriai egyesületek, izolációs szobák, sterilizációs szobák, stb.
- klinikák (7. ábra), betegszobák, szülészeti részlegek
- gyógyszerészetek és laboratóriumok
- szociális otthonok.

3.3. Tulajdonságok

Az AB üveg sík felületű, könnyen tisztítható, ellenáll a tisztítószernek, nedvességálló, stabil AB tulajdonsága az idővel nem változik. Nem abszorbens, nem mérgező, ellenáll az UV sugárzásnak, nem gyúlékony, ütésálló (laminálva vagy biztonsági fóliával [3]). Lehet átlátszó, matt, színes, reflexív. Az antibakteriális tulajdonság nem látható.

Különösképpen olyan helyeken érdemes alkalmazni, ahol a meleg és nedves környezet kedvező a baktériumok és a penész számára (pl.: fürdőszobák, sportcsarnokok, egészség centrumok, uszodák, stb.), ahol speciális higiéniai kívánalmaknak kell megfelelni (kórházak, laboratóriumok, izolációs szobák, stb.), egyéb helyek: étkezdék, várótermek, WC-k, stb.. További felhasználási lehetőségek is felmerülnek: manikúrasztalok munkalapja AB üvegből (Franciaország), szépségcentrum falburkolata (Bulgária).

HIVATKOZÁSOK

- [1] **PANKHARDT, K.**, Különleges üveg tartószerkezetek a magyar építőiparban, Építőanyag 55. évf. 2003/3. pp. 106-111.
 - [2] **PANKHARDT, K.**, Az üveg tartórendszerek fejlődése. Alaprajz 7. évf. 2000/5. pp. 14–18
 - [3] **PANKHARDT, K.**, Investigation on bending strength of glass panes, Periodica Polytechnica - Civil Engineering, Vol.52. No 2. pp.73-82., doi:10.3311/pp.ci.2008-2.03 .
 - [4] **www.hg.hu**: A technika csodája c. cikk
 - [5] **TÖMÖRI, BALÁZS**: Van új a nap alatt: öntisztuló üveg c. cikke (2004. jún. 14.) www.humusz.hu
 - [6] **www.julichglas.hu**, Öntisztuló üveg c. weblap
 - [7] **KURIBAYASH, K., OHMIYA, D.**, Ag₂O-V₂O₅ vegyületekkel bevont szilikagél gyöngyök fotokatalitikus tulajdonságai (Photocatalytic properties of silica gel beads coated by Ag₂O-V₂O₅), Építőanyag 62. évf. 2010/1., pp.11-14.
 - [8] **SCHITTICH, C., STAIB, G., BALKOW, D., SCHULER, M., SOBEK, W.**, Glass Construction Manual, Birkhäuser Publishers, Basel, 1999, pp. 62-69.
 - [9] **WIEDERHORN, S. M.**: Influence of water vapor on crack propagation in soda-lime glass, Journal of the American Ceramic Society, Vol.50, 1967, pp. 407-414.
 - [10] **PANKHARDT, K., BALÁZS, L.GY.**, Teherhordó üvegek éleinek szilárdsága, (Study of edge strength of load bearing glasses) Építőanyag 62. évf. 2010/1., pp. 15-22.
 - [11] **www.yourglass.com**, AB projects.pdf (AGC web oldala)
- (1.) 1. ábra: Fotó: Bene Zsuzsanna, Bécs, 2010. ápr. 22.
 - (2.) 2. ábra: www.flickr.com/photos/gleissi42/451544851/
 - (3.) 3. ábra: www.flickr.com/photos/25002245@N00/193813158/
 - (4.) 4. ábra: www.veranka-ablak.hu/nyzkiegdok.html
 - (5.) 5. ábra: www.public.coe.edu
 - (6.) 6.-7. ábra: www.yourglass.com, AB projects.pdf

RÉGMŰLT ÉS NAPJAINK HABARCSAI

MORTARS OF ANCIENT AND PRESENT TIME

BODNÁR Dávid Imre* – PANKHARDT Kinga**

Debreceni Egyetem Műszaki Kar

Építőmérnöki Tanszék

4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.

* hallgató, bodnardavid21@freemail.hu

**főiskolai docens, kpankhardt@yahoo.com

Kivonat: A környezettudatos építés előtérbe kerülésével nő az újrahasznosítás fontossága. Jelen korban építésből, ill. bontásból származó sokféle anyagot újra lehet hasznosítani. Visszatekintve a korai építőanyagokra, számos irodalom is rávilágít, hogy pl. habarcsok készítéséhez régebben is alkalmaztak újrahasznosított anyagokat. Kutatásunkkal a bontásból, ill. építésből származó beton ill. téglátörzvények finom részének habarcsokban való újrafelhasználása nyújtotta lehetőségeket vizsgáltuk.

Kulcsszavak: habarcs, újrahasznosítás, bontás, hulladék, szilárdság

Abstract: With increase of importance of environment compatible construction the importance of recycling increases too. In present time various materials produced from demolition or building can be recycled. Looking back on the ancient building materials, numerous literature highlighted that recycled materials were also earlier applied e.g. in ancient mortars. The possibilities of use of fine particles of crashed concrete or brick from demolition or building in mortars were experimentally studied.

Keywords: mortar, recycling, demolition, waste, strength

1. KORAI HABARCSOK

A habarcs vagy "malter" építészeti szakkifejezés. Téglák, kövek, falazásra használt anyagok kötőanyaga. A kiegészített téglát elemeket illesztették egymás mellé, miközben habarcsot tettek a sorok alá és fölé, gyakran pedig a téglatestek közé is. A habarcsok másik felhasználási területe a vakolat készítése. Mindkét esetben a habarcs mészt, homok és víz keverékeként készül. Jó minőségű építéshez mindhárom alkotórésznek jó minőségűnek kell lennie.



1. ábra Római vízvezetékrendszer falazata [1]

Egyiptomban már a piramisokhoz szalmával kevert sarat, gipsz-, ill. mészhabarcst használtak a téglák összekötéséhez. Ugyanekkor Kínában már a Nagy Fal építésékor cementszerű anyagot használtak. A görögöknél i. e. 800-ban Krétán és Cipruson olyan mészből kevert habarcs terjedt el, ami keményebb volt, mint később a rómaiak Puccolánai cementnek nevezett *összetört téglá*, mész, téglapor, vagy vulkáni hamu „rózsaszín homok” összetételű habarcsa [1]. Ezt a habarcst azért használhatták kötőanyagnak a rómaiak laikusként is, mert a Vezúv melletti bányából származó vulkáni hamu alumínium, és szilícium tartalmú volt, a mai mesterségesen előállított cementekhez hasonlóan. Rómaiak ezt a habarcst használták még az utak mellett többek között a fürdők, a Bazilika, a Colosseum, a Phantenon és a római vízvezetékek építésére is.

Korábban hazánkban a vulkáni tufából örölt habarcs volt a legelterjedtebb, melynek összetétele a következő volt: 4 rész puccolán; 3 rész mész; 2 rész homok; 2 rész téglatörmelék [1]. Európában vakolatként terjedt el, mivel számtalan jó tulajdonsággal bírt a felhasználás során. Ennek az összetételnek viszont a téglatartalma és a puccolán vasoxid miatt enyhe vöröses-sárgás színe volt. Ezek a vakolatok sokszor foltossá váltak a felhasznált anyagok összetételi egyenetlensége miatt, de ez cseppet sem rontotta minőségüket, sőt kifejezetten előnyösnek bizonyult, mivel antik-jelleget kölcsönzött az épületeknek.

A 19. században hazánkban a puccolánt leváltotta a *trassz*, melyet Németországban, bányásztak. A trassz segítségével jó minőségű habarcst állítottak elő a következő összetételben: 2 rész mész; 1 rész traszt; 1 rész téglapor [1]. Később több helyen megjelent a *gipsz*, mint vakoló anyag, ám ezt csak enyhe éghajlatú helyeken alkalmazták (Párizs, Lengyelország egyes részein) mivel fagy hatására megrepedt és kipergett, így főként belső tereknél került felhasználásra.

2. ÚJRAHASZNOSÍTOTT ADALÉKANYAGÚ HABARCSOK

Napjainkba számtalan habarcsféle jelent meg, csoportosíthatjuk őket pl. felhasználási területük szerint (falazó-, vakoló habarcsok stb.), kötőanyaguk szerint (cement~, meszes~, gipszes~ stb.) [2, 3, 4].

Primer építési alapanyag készleteink végesek, mely kihat az építőanyagok árának alakulásra [5, 6]. A környezettudatos építés előtérbe kerülésével az építési anyagoknál is nő az újrahasznosítás szerepe. Az említett két fő szempont mellett számtalan rendelet mondja ki, hogy 2012-ig az építési törmelék 40%-át újra kell hasznosítani [7, 8]. Ezt a tényt szem előtt tartva indítottunk a Debreceni Egyetem Műszaki Karának Építőmérnöki Tanszékén egy laboratóriumi kutatást, melynek témája az építésből és bontásból származó beton törmelékek újrahasznosítása.

A beton törmeléknek az újrahasznosításig számos technológia folyamatokon (pl. tisztítás, törés, osztályozás) kell keresztül mennie, mielőtt új betonok, habarcsok készítéséhez adalékanyagként alkalmassá válik [9, 10, 11].

Míg az újrahasznosított betonokban a durvább (4 mm szemcse nagyság feletti) pl. tört beton adalékanyag frakciók több helyen (pl. útalap) alkalmazhatók [8, 9], addig a megmaradó finom rész (4 mm alatti szemcsék) hasznosítása gondot jelent.

3. LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK

Jelen kutatásunkban a zúzott beton finomrészéből készülő habarcsok készítését és vizsgálatát tűztük ki célul, továbbá a habarcsokban való építési- bontási törmelékek újrafelhasználása nyújtotta újabb lehetőségeket szeretnénk kiaknázni. Megemlítendő, hogy újrahasznosított adalékanyagú habarcsok témában még kevés irodalmi kutatási eredmény állt

rendelkezésünkre. Kutatásunk kiindulási alapja időszámításunk előtti időkre vezethető vissza (lásd 1. fejezetben). Már az ókorban habarcsokhoz kiegészítő-anyagként alkalmazva újrahasznosítottak különféle zúzalékokat (pl.: habarcsba zúzott téglát, téglaport, vulkáni hamut) keverték, révén, hogy javulhat tőlük a habarcs valamely jellemzője, pl. szilárdsága, tapadása stb. Így, kiindulásul áttekintettük az irodalomban fellelhető régi és újabb kori habarcsok jellemzőit, összetételét is. A DE MK Tartószerkezeti és szilárdságtani laboratóriumában építésből és bontásból származó, a Kiss és Társa Kft. (Budapest) [12] által előállított beton töret habarcsok adalékanyagában történő újrahasznosíthatóságát vizsgáltuk.

3.1. Adalékanyag vizsgálatok

Habarcs készítéshez a 0,063-2 mm közötti szemnagyságú zúzott beton finom adalékanyagot használtuk. A Kiss és Társa Kft. által előállított tört adalékanyagot (0/10 frakció) szabványos szitasoron leszártuk, majd különválasztottuk a finomrész frakciót.

A szemeloszlásnál megfigyelhető volt, hogy a zúzalékban a 0,5 mm átmérőjű szemcsék jelentős mennyiségben (90 m%) vannak jelen. Kelet-európai homokokra is nagyjából ez az arány jellemző. A tört finomrész finomsági modulusa 4,03 volt. Az újrahasznosított beton finomrészének nagy a fajlagos felülete, továbbá porózus, így a vízfelvétele nagyobb a természetes homokéhoz képest, ezért a receptek kidolgozásánál ezt figyelembe vettük.

3.2. Habarcs recept készítése

Többféle habarcs-receptet készítettünk, melyekhez a természetes adalékanyag frakciót részben, ill. teljesen zúzott homokkal helyettesítettünk. Vizsgáltuk a friss habarcsok konzisztenciáját, a megszilárdult habarcsok szilárdsági jellemzőit, valamint összehasonlítottuk a természetes adalékanyagból készült etalon habarcs jellemzőivel. 40×40×160 mm-es próbatesteket készítettünk. A próbatesteket törésig vízben tároltuk, majd hajlító- és nyomószilárdsági vizsgálatokat végeztünk 2, 7 14, 28 napos korban.

Vizsgálatainkhoz három különböző habarcsreceptet készítettünk. A cement fajtája, mennyisége és a tervezett víz/cement-tényező ($m_w/m_c=0,55$) azonos volt minden keveréknél.

- 1. habarcs recept: „etalon”: természetes adalékanyagú (homok) habarcs (1. Táblázat).
- 2. habarcs recept: 100%-ban újrahasznosított zúzott betonból származó finom adalékanyaggal készített habarcs (2. Táblázat).
- 3. habarcs recept: 50-50%-ban homokból és zúzott betonból adalékanyagokkal készített habarcs (3. Táblázat).

<i>Anyag</i>	<i>Fajta vagy frakció</i>		<i>Tömeg, kg/m³</i>	<i>Térfogat l/m³</i>
homok	0/2	100%	1396,5	529,0
	Összesen	100%	1396,5	529,0
Cement	CEM III/A 32,5 R		420,0	135,5
Mész		10%	42,0	98,7
Víz	m_w/m_c	55%	231	231
Adalékszer	Glenium C323	0,2%	0,84	0,84
Levegő			--	5,00
Összesen			2090	1000

1. Táblázat 1. habarcs recept összetételi táblázata

Anyag	Fajta vagy frakció		Tömeg, kg/m ³	Térfogat l/m ³
tört beton	0/2	100%	1267,5	528,1
	Összesen	100%	1267,5	528,1
Cement	CEM III/A 32,5 R		420,0	135,5
Mész		10%	42,0	98,7
Víz	mw/mc	55%	231	231
Adalékszer	Glenium C323	0,4%	1,68	1,68
Levegő			--	5,00
Összesen			1962	1000

2. Táblázat 2. habarcs recept összetételi táblázata

Anyag	Fajta vagy frakció		Tömeg, kg/m ³	Térfogat l/m ³
Homok	0/2	50%	697,7	264,3
tört beton	0/2	50%	634,3	264,3
	Összesen	100%	1332,0	528,6
Cement	CEM III/A 32,5 R		420,0	135,5
Mész		10%	42,0	98,7
Víz	mw/mc	55%	231	231
Adalékszer	Glenium C323	0,3%	1,26	1,26
Levegő			--	5,00
Összesen			2026	1000

3. Táblázat 3. habarcs recept összetételi táblázata

3.3. Friss habarcs keverékek vizsgálati eredményei

A friss habarcs keveréket acél sablonokba dolgoztuk be, majd vibroasztalon tömörítettük. 40×40×160 mm-es próbatesteket készítettünk. Kizsaluzást követően a próbatesteket törésükig víz alatt tároltuk.

Megállapításaink:

- Az 1. recept esetén **rövid idejű tömörítés** is elég volt, hogy a sablont a friss keverék megfelelően kitöltse.
- A 2. recept esetén a friss keverék kissé nehezen tömörödött, (a **tömörítési idő megnőtt**) de jól kitöltötte a sablont.



2. ábra Területi vizsgálat eredménye 1., 2., 3. jelű habarcs keverékeknél

- A 3. recept esetén a friss keverék könnyen bedolgozható és **jól tömöríthető** volt.

Azonos tervezett víz/cement-tényező (0,55) esetén eltérő konzisztenciájú keverékeket kaptunk (2. ábra).

MSZ EN 1015-6 [13] szerint a keverékek konzisztenciája:

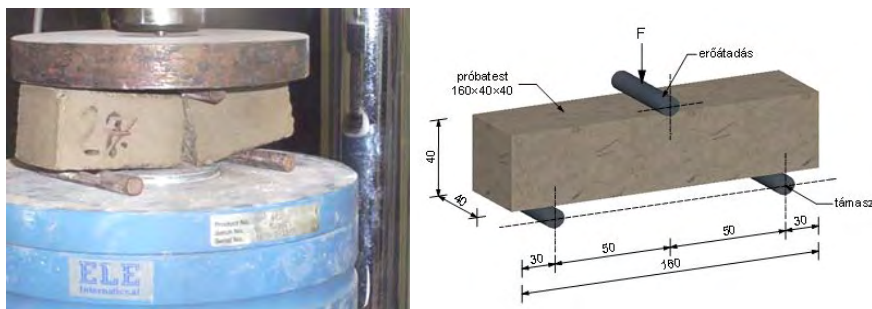
- 1. recept „etalon” terület vizsgálata alapján: *folyós konzisztenciájú*
- 2. recept „100% zúzott beton terület vizsgálata alapján: *kissé képlékeny*
- 3. recept „50-50% homok és zúzott beton terület vizsgálata alapján: *képlékeny*

Megállapítható, hogy a 3. recept habarcsoknál való alkalmazásra a leginkább alkalmas.

A tört adalékanyagú betonok esetében az adalékanyag fajlagos felülete nagyobb a természetes adalékanyagéhoz képest, amely befolyásolja a pértartalomra jutó fajlagos vízmennyiséget, így a bedolgozhatóságra és a tényleges víz/cement-tényezőre is hatással volt.

3.4. Megszilárdult habarcs keverékek vizsgálati eredményei

A mintákat 2, 7 14, 28 napos korukig vízben tároltuk, majd hajlító és nyomószilárdsági vizsgálatokat végeztünk. Az MSZ EN 196-1 számú szabvány szerint [14] a hajlító-húzó szilárdságot 160×40×40 mm-es hasábokon vizsgáljuk 100 mm támaszközzel, középpontos terheléssel (3. ábra). A mérési eredményeknél minden esetben három próbatest átlagértékét tüntettük fel.



3. ábra Habarcs hasáb hajlítási vizsgálata, terhelési elrendezés [15]

A hajlító-húzó szilárdság számítása:

$$f_t = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (1)$$

ahol:

F_{max} – a törőerő;

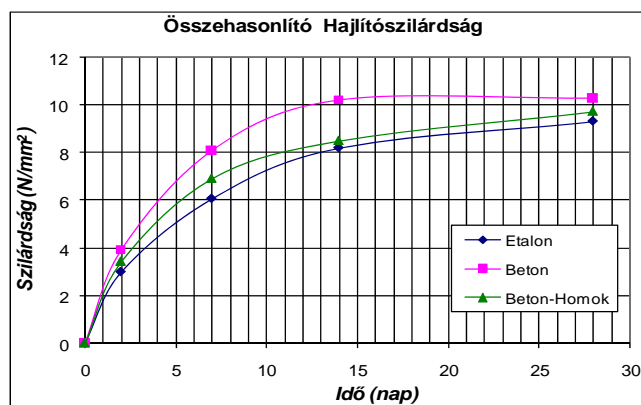
b – a hasáb szélessége;

h – a hasáb magassága;

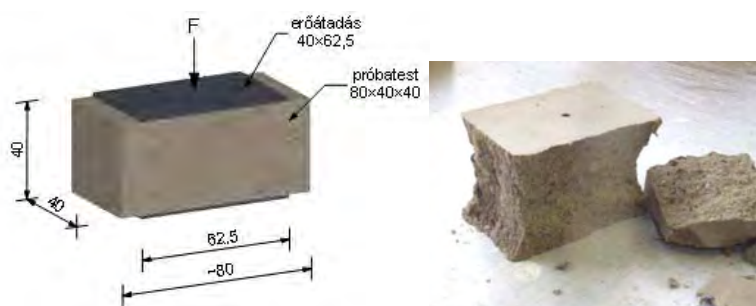
l – támaszköz.

A 4. ábra alapján megállapítható, hogy a 100%-ban újrahaznosított adalékanyaggal készült habarcs **hajlítószilárdsága magasabb**. Az újrahaznosított adalékanyag szemcséinek tapadása jobb [16], mely kedvezően hat a hajlítószilárdságra.

A hajlítószilárdsági vizsgálatból megmaradt fél próbatesteken 40×62,5 mm-es teherátadó lapok közbeiktatásával nyomószilárdsági vizsgálatot végeztünk (5. ábra). A próbatesteket tönkremenetelig terheltük és mértük a törőerőt.



4. ábra Összesített hajlítószilárdsági diagram



5. ábra Habarcs terhelési elrendezése [15] és törési felülete

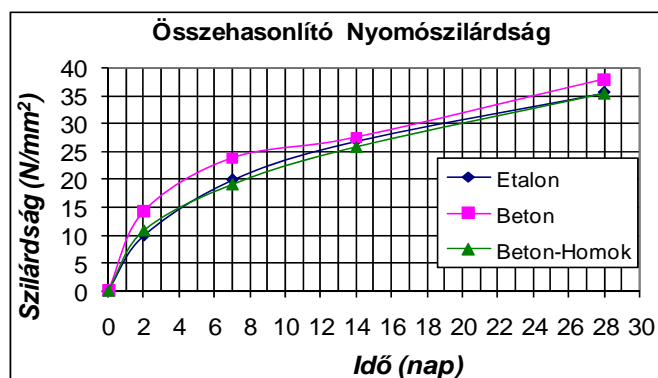
Nyomószilárdság számítása:

$$f_c = \frac{F_{max}}{A} = \frac{F_{max}}{40 \cdot 62,5} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2)$$

ahol:

F_{max} – a törőerő [N];

A – a nyomott keresztmetszeti terület [mm²].



6. ábra Összesített nyomószilárdsági diagram

A 6. ábra alapján megállapítható, hogy a 100%-ban újrahasznosított adalékanyaggal

készült habarcs **kezdeti nyomó- és hajlító szilárdsága** magasabb, mivel a pép tényleges víz/cement-tényezője csökkent a tört adalékanyag vízfelvétele miatt.

Megállapítható, hogy mindegyik habarcskeverék alkalmas a szilárdsági értékei alapján:

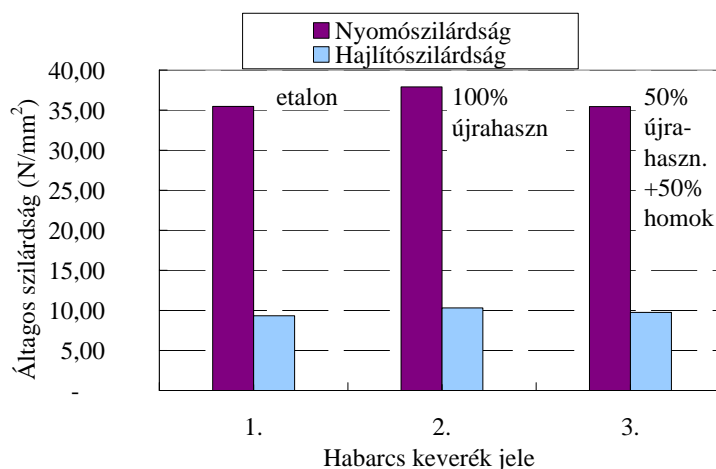
- Falazó (Hf 100 –MSZ 1600/2)
- Felületképző (Hs 100 –MSZ 1600/2)

habarcsok készítésére. Konzisztencia alapján azonban a 3. jelű keverék a leginkább alkalmas.

A 4. Táblázatban összehasonlítottuk a tervezett és a tényleges testsűrűségeket 28 napos korú próbatesteknél. A legnagyobb eltérést a 2. jelű keveréknél kaptuk (100 %-ban újrahasznosított adalékanyagú). A konzisztencia eredmények (3.3 fejezet) is jól tükrözik, hogy a megfelelő bedolgozhatóság nagyban befolyásolja a tényleges testsűrűséget.

Habarcs keverék jele	Tervezett testsűrűség, ρ_t kg/m ³	Megszilárdult habarcs testsűrűsége $\rho_{tényl.}$ kg/m ³	Átlagos nyomószilárdság 28 napos korban $f_{c,m}$ N/mm ²	Átlagos hajlítószilárdság 28 napos korban $f_{t,m}$ N/mm ²	Arányszám $f_{c,m}/f_{t,m}$ -
1.	2170	2 213,59	35,47	9,33	3,80
2.	2010	2 069,40	37,91	10,31	3,68
3.	2100	2 078,87	35,45	9,75	3,64

4. Táblázat Eredmények összesítő táblázat



7. ábra Összesített átlagos nyomó- és hajlítószilárdságok

A kapott eredményeink alapján megállapítható, hogy a beton töret finom része habarcsokban újrahasznosítható, továbbá kiegészítő anyagként alkalmazható. A nyomószilárdságra nem volt számottevő hatása, azonban hajlítószilárdságot a tört adalékanyag kedvezően befolyásolja. A 100 %-ban újrahasznosított adalékanyagú (2. jelű) keverék hajlítószilárdsága 10%-kal nőtt a természetes adalékanyagúéhoz (1. jelű) képest (7. ábra). Mivel olcsó másodlagos adalékanyagként a beton töretben rendelkezésre áll, így további kutatási tapasztalatok nagyban segíthetik elterjedését.

4. KITEKINTÉS, JÖVŐBENI KUTATÁSOK

A téma újszerűsége miatt kevés forrás, illetve kutatási eredmény áll rendelkezésünkre, ezért célul tűztük ki ennek a területnek a további kutatását, a habarcsreceptek továbbfejlesztését és

azok vizsgálatát.

Célunk zúzott téglából készült habarcs ill. vakolat készítése is, ugyanis az ókori görögök, rómaiak a vakolatoknál és habarcsoknál szintén használtak téglát őrleményt, hogy fokozzák a habarcs, vakolat szilárdságát.

Irodalomból ismert [3, 4, 16], hogy a tört adalékanyagú betonok zsugorodása a homokos kavics adalékanyagú betonokéhoz képest nő, így a tartóssági, alakváltozási vizsgálatuk szükséges. Célunk továbbá a porózus újrahasznosított adalékanyag alkalmazásával a habarcs hőszigetelési jellemzőinek vizsgálata.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] FRÖSSEL, F., Vakolat és stukkó, Budapest, Terc, cop., Budapest, 2008
- [2] PALOTÁS, L., BALÁZS, Gy., Beton – habarcs – kerámia – műanyag VIII., Akadémiai Kiadó, 1980, pp. 19-27., 131-134.
- [3] UJHELYI, J., Beton és habarcs technológia, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973, p. 580.
- [4] BALÁZS, Gy., Építőanyagok és kémia, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1994, pp. 237-282.
- [5] PANKHARDT, K., NEHME, S.G., Javaslatok a hulladékgazdálkodási irányelvekhez, Újrahasznosított adalékanyagú betonok, Mérnök Újság, VII. évf. 2000/3. pp. 13-14.
- [6] PANKHARDT, K., Építőanyagok újrahasznosítása, Építési Piac XXXI. Évf. XXXI. 1998/23. pp. 27-30.
- [7] BV-MI 01:2005 (H), "Beton- és Vasbetonépítési Műszaki Irányelv, Betonkészítés bontási, építési és építőanyag-gyártási hulladék újrahasznosításával", 2005, fib Magyar Tagozatának Műszaki Irányelv Bizottsága, 120 p.
- [8] PANKHARDT, K., Javaslatok a gazdasági, műszaki szabályozásra. Az újrahasznosított adalékanyagú betonok, Építési Piac, XXXIII. Évf., 1999/23., pp. 19-23.
- [9] PANKHARDT, K., Az újrahasznosított adalékanyagú betonok I., Beton, 2000/3. pp. 3-7.
- [10] PANKHARDT, K., Az újrahasznosított adalékanyagú betonok II., Beton, 2000/4. pp. 3-7.
- [11] PANKHARDT, K., Az újrahasznosított adalékanyagú betonok III., Beton, 2000/5. pp. 3-7.
- [12] www.nkth.gov.hu/letolt/kutat/kissts.doc
- [13] MSZ EN 1015-6, Falszerkezeti habarcsok vizsgálati módszerei
- [14] MSZ EN 196-1, Cementvizsgálati módszerek, 1. rész: A szilárdság meghatározása, 2005
- [15] PANKHARDT, K., KOVÁCS, J., Gyakorlati segédlet építőanyagok tantárgyhoz, www.mfk.unideb.hu/epitok
- [16] NEHME, S.G., PANKHARDT, K., Strength and deformation of recycled concrete, „Proceedings fib 2002 Osaka Congress”, Japan, Oct. 10. session, pp. 59-68.

ALUMÍNIUM ÖTVÖZETEK ÚJRAKRISTÁLYOSODÁSÁNAK SZIMULÁCIÓJA SEJT AUTOMATA MÓDSZERREL

COMPUTATION OF THE GRAIN STRUCTURE BY CELLULAR AUTOMATON IN SINGLE PHASE ALUMINUM ALLOYS

TÓTH Anita¹, GYÖNGYÖSI Szilvia², Dr. BARKÓCZY Péter³

¹BsC hallgató, ²PhD hallgató, ³adjunktus

Miskolci Egyetem, Anyagtudományi Intézet

tanita1988@gmail.com, gyongyosi_szilvia@citromail.hu, peter.barkoczy@gmail.com

Kivonat: Az alumínium lemezek leggyakoribb hőkezelési eljárása a lágyítás. A lemezek mechanikai tulajdonságait a mikroszerkezetük döntően befolyásolja. Egyfázisú ötvözetekben a mikroszerkezetet az újrakristályosodott hányaddal és az átlagos szemcsemérettel tudjuk leírni. Az átlagos szemmagyság leginkább a képlékeny alakítás mértékétől és a lágyítás hőmérsékletétől függ. Az újrakristályosodási diagram az alakítás mértékének és a hőkezelés hőmérsékletének az átlagos szemcseszerkezetre gyakorolt hatását mutatja. Az újrakristályosodási diagramok mérésekkel történő felvétele hosszú és fáradtságos munka. Egy mikroszerkezeti szimuláció alkalmazása megkönnyíti ezt a munkát. Egy sejt automata elven működő szimulációt fejlesztettünk az újrakristályosodás és szemcsedurvulás mikroszerkezeti szimulációjára. Cikkünkben bemutatjuk, hogy ezzel az automatával ki lehet számítani az újrakristályosodási diagramokat. 5083-as alumínium ötvözet újrakristályosodási diagramját meghatároztuk mérésekkel, majd ezzel a diagrammal összevetjük a szimuláció eredményeit.

Kulcsszavak: újrakristályosodás, szimuláció, sejt automata, alumínium ötvözet

Abstract: Annealing is the most important heat treatment of the aluminium sheets. The mechanical properties of the sheets are determined by its microstructure. In a single phase alloy the two main parameters are the recrystallized volume fraction and the average grain size. The average grain size depends mainly on the annealing temperature and the degree of deformation. The recrystallization diagrams show the effect of these parameters. The measurement of the recrystallization diagram is a hard and long work. A microstructural simulation is calculating it simple. A cellular automaton was developed to compute the grain structure during recrystallization and grain coarsening. This presentation shows that it is possible to calculate the recrystallization diagrams with an automaton. The recrystallization diagram of the 5083 aluminium alloy was measured after rolling at different annealing time. We compared the measured data with the results of the simulation.

Keywords: recrystallization, simulation, cellular automata, aluminium alloy

1. BEVEZETÉS

A sejt automata az újrakristályosodás [1] és a szemcsedurvulás [2] szimulációjának hatékony eszköze. A sejt automata leírható, mint a sejtek szabályos rácsa, amelyben minden sejt teljesen egyforma. Ha a sejtek a teret hézagmentesen töltik ki, akkor a sejt automata alkalmas anyagtudományi szimulációk fejlesztésére. Mindegyik sejt minden időlépésben rendelkezik egy állapottal, amit állapotváltozók írnak le. Az állapotok diszkrét és egy előre meghatározott véges halmazból kerülnek ki. A sejt automata mindegyik lépésében újraszámítja a sejtek állapotát az állapotváltozási szabályoknak megfelelően. Az állapotváltozási szabályok leírhatók egy függvénnyel, amelynek függő változója a sejt új lépésben lévő állapota, független változói a sejt aktuális állapota és a környezetében lévő sejtek aktuális állapota. Az automata működése során az idő lépésekben telik. Egy lépésben az automata meghatározza mindegyik sejt új állapotát [3]. A sejtek környezetében lévő további sejteket szomszédságnak nevezzük. Az irodalomban több alkalmazott szomszédságot

találunk [4]. A legtöbb esetben a vizsgált sejttel érintkező sejtek jelentik a szomszédságot. A sejt-univerzum határán lévő sejteknek azonban nincs meg az összes szomszédjuk. A hiányzó szomszédokat a határfeltételek adják meg. Leggyakrabban a periodikus és a semleges határfeltételt alkalmazzuk. A periodikus határfeltétel az automata végtelenbe való kiterjesztése, ezzel a határfeltétellel az anyag belsejében végbemenő folyamatok kezelhetők. Ezzel szemben a semleges határfeltétellel az anyag felületének a hatása szimulálható.

Az irodalomban sok módszer található az újrakristályosodás és a szemcsedurvulás szimulációjára [5]. A legtöbb szimuláció a szemcseszerkezet változásán keresztül követi az említett folyamatokat. [6]. Az újrakristályosodás és a szemcsedurvulás rövid-távú diffúzióval végbemenő folyamatok. A szemcsehatárok mozgása az atomok határon történő átlépésével valósul meg. Az atomok határon történő átlépésének valószínűsége (gyakorisága) az atom és közvetlen környezetének energiaállapotától függ [7]. A sejt automata működése során a sejt és közvetlen szomszédságának állapotát vesszük figyelembe. Ez a hasonlóság teszi hatékony eszközzé a sejt automatát az újrakristályosodás és szemcsedurvulás szimulációjában.

Az irodalomban több megoldás található az említett fázisátalakulások sejt automata szimulációjára. Különböző típusú különböző állapotváltási szabállyal működő automatákat igyekeznek összekapcsolni az irodalomban, hogy a két átalakulás egyszerre szimulálható legyen [8]. Ezeknek az eltérő automatáknak az összekapcsolása nehéz. Cikkünkben bemutatunk egy olyan állapotváltási szabályrendszert, amellyel mind a két említett átalakulás egy automatával szimulálható. Az automatánk ezen tulajdonsága alkalmassá teszi az újrakristályosodási diagramok számítására.

A következőkben bemutatjuk, hogy az automatával szimulálni tudjuk az újrakristályosodás és a szemcsedurvulás során megváltozó mikroszerkezetet, és az automatával az újrakristályosodási diagramok kiszámíthatók. Hidegen hengerelt 5083 alumínium ötvözetű lemezek újrakristályosodását vizsgáltuk, és összevetjük a szimuláció eredményeit a mért mikroszerkezetekkel.

2. SZIMULÁCIÓ

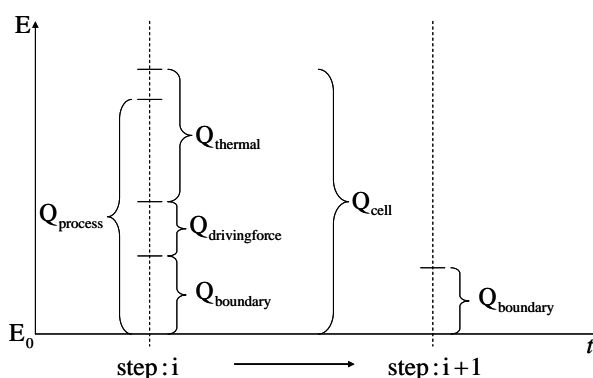
A fejlesztett szinkron sztochasztikus [9] sejt automata 512×512 négyzet alakú sejtet tartalmaz. Neumann-féle szomszédságot és periodikus határfeltételt alkalmaztunk [4]. Három állapothatározóval adjuk meg a sejtek állapotát: tárolt energia, kristálytani orientáció és a hőmérséklet. Ha a sejt tárolt energiája meghalad egy kritikus értéket, akkor az anyag alakított térfogatrészét jelenti, ha nem akkor újrakristályosodottat [10]. Ha két szomszédos sejt kristálytani orientációja eltér egymástól, akkor mind a két sejt szemcsehatáron helyezkedik el, és rendelkeznek egy többlet szemcsehatár energiával, amit a kristálytani orientáció eltérése miatt a Read-Shockley egyenlettel [11] számolunk ki. A sejt energiája a tárolt energia, a szemcsehatár energia és a termikus energia összege. A termikus energiát a hőmérsékletből számítjuk ki az (1) szerint. Az (1) egyenletben T a hőmérséklet, p egy véletlen szám 0 és 1 között, R a gázállandó Q_{thermal} a termikus energia. A tárolt energiát az alakítás mértékének (q) ismeretében a (2) egyenlettel számítjuk, ahol E_{max} és K állandók [7].

$$Q_{\text{thermal}} = -RT \ln(p) \quad (1)$$

$$Q_{\text{stored}} = E_{\text{max}} (1 - \exp(-Kq)) \quad (2)$$

Az automata a sejtek új állapotának meghatározásakor megvizsgálja a sejt és a szomszédjai állapotát (konfigurációs feltétel) és a sejt energiáját (energia feltétel). Az állapotváltozás csak akkor mehet végbe, ha sejt és a környezete állapota azt lehetővé teszi. Például az

újrakristályosodás során a csírák csak teljesen alakított térfogatrészben képződnek. Az automatában ez azt jelenti, hogy csak olyan sejt válhat az újrakristályosodás csírájává, amelyik saját és a szomszédjai tárolt energiája meghalad egy kritikus értéket. Ebben az esetben, ha a sejt energiája meghaladja a csíráképződéshez rendelt aktiválási energiát, akkor a sejtből csíra lesz, elveszti a tárolt energiáját, és véletlenszerűen új kristálytani orientációt kap. Ha a vizsgált sejt alakított – újrakristályosodott határon van és a tárolt energia értéke meghaladja a kritikus értéket, a csíranövekedés történhet abban az esetben, ha a sejt energiája meghaladja a csíranövekedéshez rendelt aktiválási energiát. Az állapotváltás során a sejt elveszti a tárolt energia értékét, és a kristálytani orientációja az újrakristályosodott szomszédjával egyezőre változik. Ha a sejt és a szomszédjai tárolt energiája kisebb, mint az említett kritikus érték, és a sejt energiája nagyobb, mint a csíranövekedéshez rendelt aktiválási energia, akkor a sejt felveszi a legkisebb energiával rendelkező szomszédjának kristálytani orientációját. Ez a szabály vezet a szemcsedurvuláshoz.



1. ábra A sejt energiájának változás a sejt állapotának megváltozásakor.

A szabályrendszer energia feltétele közös mindegyik folyamat esetén. Általánosságban a sejt energiája a szemcses határ energia ($Q_{boundary}$), a tárolt energia ($Q_{drivingforce}$), és termikus energia összege ($Q_{thermal}$). Ha a sejt energiája nagyobb, mint a folyamathoz rendelt aktiválási energia a folyamat által meghatározott állapotváltás végbemegy, ha a sejtek konfigurációja lehetővé teszi. A sejt elveszti az állapotváltozás során a tárolt energiáját és a kristálytani orientációja is megváltozik a folyamatnak megfelelően (1. ábra).

Az újrakristályosodási diagramok számításához alakított szemcseszerkezetre van szükségünk. A számításaink során hengerelt szerkezetek lágyulását vizsgáljuk. Hengerlés esetén elegendő csak a hengerlési és a normális irány által kifeszített síkot vizsgálnunk, mert a deformáció azonos mindegyik ilyen síkban. Ez azt jelenti, hogy elegendő egy két-dimenziós automatát készítenünk. Egy egyszerű szinkron sztochasztikus automatával elkészíthetők az alakított szemcseszerkezetek. A sejtek geometriája és az állapotváltozók azonosak, mint az előbb bemutatott automatában. Kezdetben minden sejt egy szemcséhez tartozik, azaz minden sejt kristálytani orientációja azonos. Az első lépésben adott számú csírák képzünk az univerzumban véletlenszerűen. A csírák száma meghatározza az alakított szemcseszerkezet szemcseméretét. A szemcsék növekedése sztochasztikus jellegű. A szemcsenövekedés valószínűségét adjuk meg, amely eltér a x és y irányokban. Egy véletlen számot generálunk minden sejthez. Ha a vizsgált sejt az eredeti szemcséhez tartozik és egy növekvő csíra határán helyezkedik el és a generált véletlen szám kisebb, mint a növekedés valószínűsége, akkor az új állapota a növekvő csíra sejtjeinek állapota lesz. Ha a két fő irányban a növekedés valószínűsége azonos, akkor közel körszerű lesz a növekvő csíra [12]. Minél jobban eltér egymástól a két valószínűség, annál alakítottabb szemcseszerkezet fejlődik.

3. VIZSGÁLATOK

Méréseinkhez 7mm vastagságú 5083 alumínium ötvözetű melegen hengerelt lemezt alkalmaztunk. Az ötvözet szabványos összetételét az 1. táblázat mutatja. Von Roll kísérleti hengerállványon a melegen hengerelt lemezt 59, 70, 78, 83, 90%-os fogyásokkal hidegen hengereltük. A hidegen hengerelt lemezeket 350°C és 500°C között 50°C-os lépésekben izotermás körülmények között lágyítottuk 1 óráig.

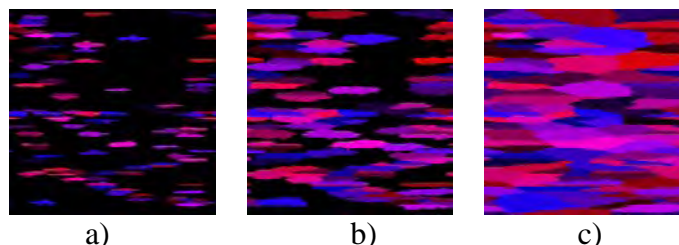
A hőkezelt mintákat epoxi-gyantába öntöttük, majd a keresztírányra merőleges felületeüket csiszoltuk. Csiszolás után 3 mm-es szemnagyságú gyémántpasztával políroztuk, végül Barker marószerszomben elektrolitosan marattuk egy Struers LectroPol5 berendezéssel. A cikkben szereplő összes fotót polarizált fényben készítettük. A minták átlagos szemcsenagyságát az ASTM szabványnak megfelelően mértük.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Na
0.15	0.30	0.10	0.5	4.5	0.15	0.10	0.10	0.0003

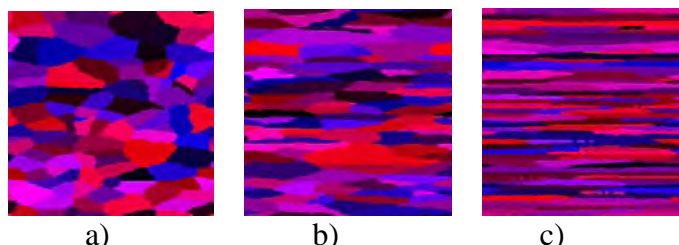
1 táblázat. Az 5083 alumínium ötvözet szabványos összetétele.

4. EREDMÉNYEK

Az újrakristályosodási diagram számításához alakított szemcseszerkezeteket kell előállítani a szimuláció számára. Az alakított szemcseszerkezet kialakulása a 2. ábrán látható. Látható, hogy a szemcsék eltérő irányban eltérő sebességgel nőnek, ami a szemcsék nyújtott alakját biztosítja. Ez a csírnövekedés irányfüggő valószínűségével érhető el. Ha növekszik az egyes irányokban a növekedés valószínűségének különbsége, akkor eltérő alakíthatósági szemcseszerkezetek készíthetők (3. ábra).



2. ábra. Az alakított szemcseszerkezet kialakulása 50%-os alakíthatóság esetén a) 20 lépés, b) 40 lépés, c) 120 lépés után.



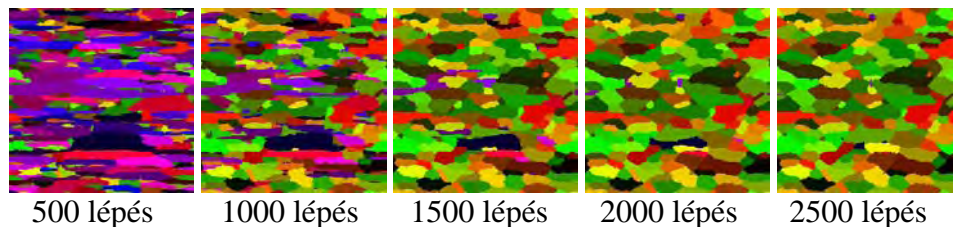
3. ábra. A számított alakított szemcseszerkezetek a) 40%, b) 60%, c) 80% alakíthatóság esetén.

Az alakított szemcseszerkezet számítása után meghatározzuk a tárolt energiát és hozzárendeljük a cellákhoz. A cikkben bemutatott számításoknál a következő adatokat használtuk: $E_{\max} = 10\text{kJ/sejt}$, $K = 1$. A csíráképződés aktiválási energiája 100kJ/sejt , a

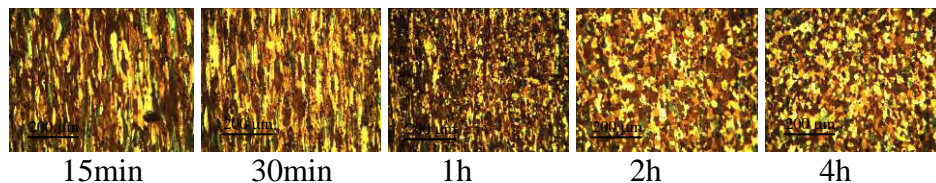
csíranövekedés aktiválási energiája pedig 60kJ/sejt. A határenergia maximális értéke 10kJ/sejt. A számításokat 50%-os alakíttottság és 300°C feltételezésével végeztünk, az eredmények a 4. ábrán láthatók.

Ugyanekkora alakítás után ugyanezen a hőmérsékleten különböző időtartamokig lágyítottunk 5083-as ötvözetű lemezeket. A mikroszerkezetükről készített felvételeket az 5. ábra mutatja. Az ábra felvételein jól látható, hogy a számított és a rögzített mikroszerkezetek hasonlóak. Rövid hőkezelési idő után részlegesen újrakristályosodott szemcseszerkezet figyelhető meg, amíg hosszú időtartamú lágyítás esetén kis méretű szemcsedurvulás látható.

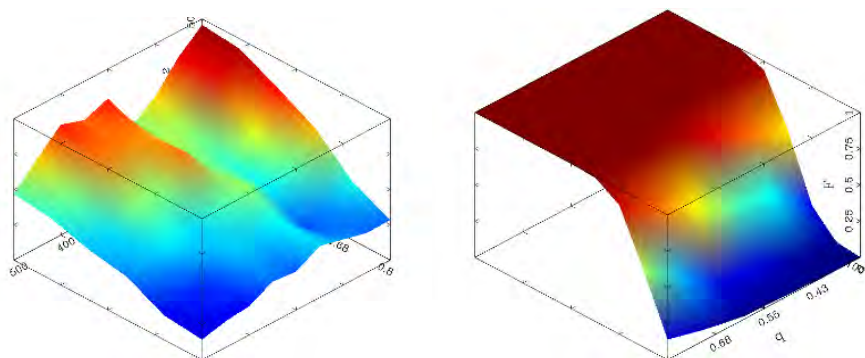
A fent említett paraméterekkel felvettük az újrakristályosodási diagramot 200°C-500°C hőmérséklet, és a 20% - 80% alakítási mérték tartományban. Az eredményül kapott diagramot a 6. ábra mutatja. Az ábra alakja megfelel az elméleti megfontolásoknak. A számított felület érdekessége a kis csúcs, ami kis alakítási mértékeknél figyelhető meg. A 6. ábrán ugyancsak ábrázoltuk az újrakristályosodott hányadot az alakítás és a hőkezelés hőmérsékletének függvényében. A csúcs tartományában részlegesen újrakristályosodott szövet figyelhető meg, ahol kis újrakristályosodott hányadoknál az átlagos szemnagyságra erős hatással vannak a megjelenő csírák.



4. ábra. A szimulációval számított mikroszerkezetek különböző szimulációs lépések után. Az eredeti szerkezet alakíttottsága 50%, a lágyítás hőmérséklete 300°C.



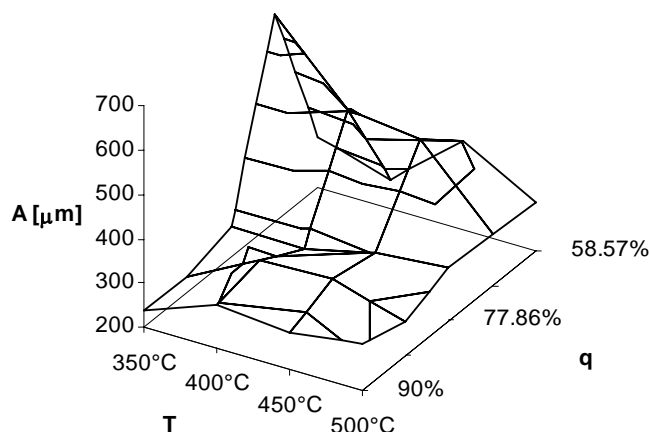
5. ábra. A hidegen hengerelt majd hőkezelt 5083 ötvözetű lemezek mikroszerkezete különböző lágyítási időtartamok után. Az alakítás mértéke 50%, a hőkezelés hőmérséklete 300°C volt.



6. ábra. A számított újrakristályosodási diagram (balra) és az újrakristályosodott térfogathányad (jobbra).

Megmértük a hidegen hengerelt 5083-as ötvözetű hidegen hengerelt lemezek újrakristályosodási diagramját (7. ábra). Kis alakítási mértékeknél és kis hőmérsékleteken nagy szemcsenagyságot mértünk. Ahogy a hajtóerő növekszik az alakítás mértékének növelésével a megjelenő csírák száma növekszik, ami apróbb szemcséket eredményez. A csíráképződés sebessége ugyancsak emelkedik a hőmérséklet emelkedésével, ami ugyancsak apróbb szemcséket eredményez.

Összevetve a számított (6. ábra) és a mért (7. ábra) újrakristályosodási diagramot megállapíthatjuk, a szimuláció alkalmas az újrakristályosodási diagram számítására.



7. ábra A mért újrakristályosodási diagram.

5. ÖSSZEGZÉS

Egy sejt automatát fejlesztettünk az újrakristályosodás és a szemcsedurvulás szimulációjához. Egy speciális állapotváltási szabályrendszer alkalmazásával egy automatával tudjuk szimulálni mind a két folyamatot. Ez teszi alkalmassá az automatánkat az újrakristályosodási diagramok számítására. Az újrakristályosodási diagramok számításához alakított szemcseszerkezetre van szükségünk. Ezt egy mási sejt automatával elkészíthetjük. 5083-as ötvözetből készült hidegen hengerelt lemezek újrakristályosodási diagramját felvettük. Összevetve a számított és a mért újrakristályosodási diagramokat megállapíthatjuk, hogy az automatánkkal lehet újrakristályosodási diagramokat számítani.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] H. W. Hesselbarth - I. R. Göbel, Acta Metall., Vol. 39, No. 9, pp 2135-2143, 1991.
- [2] J. Geiger - A. Roósz - P. Barkóczy, Acta Mater., Vol. 49, pp. 623-629, 2001.
- [3] R. Espericueta: Cellular Automata Dynamics, Bakersfield College, 1997.
- [4] R. J. Gaylord - K. Nishidate: Modelling Nature, Springer, 1997.
- [5] M. A. Midownik, Journal of Light Metals, Vol. 2, pp. 125-135, 2002.
- [6] A. D. Rollett, Progress in Material Science, Vol. 42, pp. 79-99, 1997.
- [7] John. D. Verhoeven: Fundamentals of Physical Metallurgy, Wiley & Sons, New York, 1975.
- [8] A. D. Rollett - D. Raabe, comp. mater. sci., Vol. 21, pp. 69-78, 2001.
- [9] C. H. J. Davies, Scripta Mater., Vol. 36, No. 1, pp. 35-40, 1997.
- [10] P. Barkóczy - A. Roósz - J. Geiger: Mat. Sci. Forum, Vol. 414-415, pp. 359-364, 2003.
- [11] D. Wolf - S. Yip: Materials Interfaces, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1992.
- [12] C. H. J. Davies, Scripta Mater., Vol. 40, No. 10, pp. 1145-1150, 1999.

KERESZTMETSZETI KIHASZNÁLTSÁG ÉS OSZTÁLYOZÁS KAPCSOLATA ACÉLSZELVÉNYEK ESETÉN

CLASSIFICATION OF CROSS-SECTIONS IN THE CASE OF COMBINED LOADING

NAGY Ferenc

Munkahely: Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Építőmérnöki Tanszék
4700, Magyarország, Mátészalka, Meggyesi út 9.
06-30-814-5859
funkyferi@freemail.hu

Kivonat: Az elmúlt évtizedekben az acélszerkezetek kialakítása jelentős változásokon ment át. Ezzel párhuzamosan új méretezési eljárások kerültek kifejlesztésre, melyek elkerülhetetlenné tették a vonatkozó szabályozás megújítását. Az Európai Unió új szabványrendszere, az EUROCODE felváltotta a Magyarországon előtte hatályban lévő MSZ szabványt. A szabvány az acélszelvényeket különböző keresztmetszeti osztályokba sorolja aszerint, hogy az esetleges stabilitásvesztés (lemezhorpadás) milyen mértékű igénybevételek hatására következik be és ez milyen mértékben befolyásolja a keresztmetszetek ellenállását. Az EUROCODE szabvány nem tér ki részletesen arra, hogy összetett igénybevételek esetén a keresztmetszeti osztályváltás milyen igénybevétel párok hatására következik be. A szabvány csak a keresztmetszetekre ható tiszta igénybevételek keresztmetszeti ellenállást befolyásoló hatásait vizsgálja. Dolgozatomban külpontosan nyomott, összetett igénybevételeknek kitett keresztmetszetek osztályba sorolásának kérdéseivel foglalkozom, melyekre az EUROCODE nem ad egyértelmű választ.

Kulcsszavak: keresztmetszet, összetett igénybevétel, kihasználtság

Abstract: In the last years the forming of steel structures has passed through changes. New sizing procedures have taken shape and the system of regulation has transformed because of this. The new European standard, is called EUROCODE, has relieved the Hungarian Standard MSZ. The EUROCODE standard categorizes cross-sections according as what kind of loading causes their buckling and how affect it their resistance. The new standard categorizes cross-sections only in case of the simple loading. In my work I search solutions of the classification of cross-sections in case of combined loading.

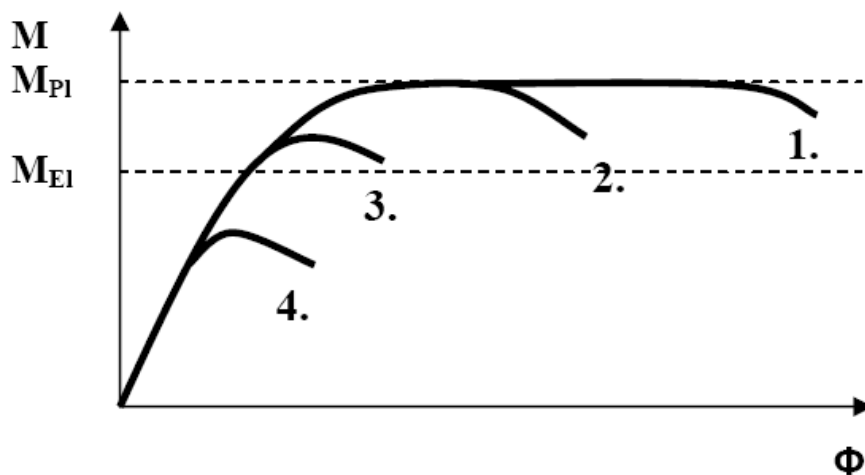
Keywords: Cross-section, combined loading, capacity of sections

1. KERESZTMETSZETI OSZTÁLYOK DEFINIÁLÁSA

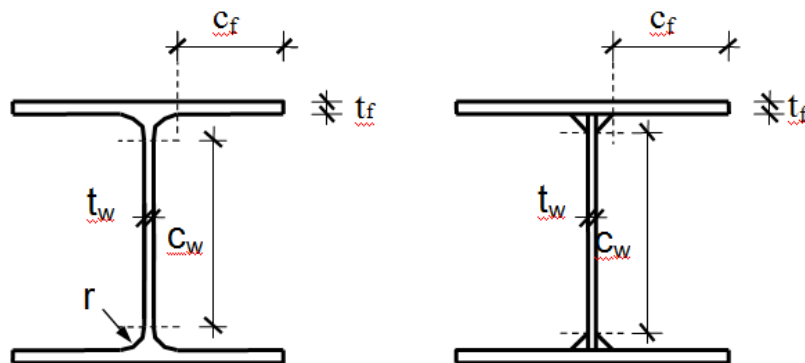
A keresztmetszeti ellenállást befolyásolja hosszirányú nyomófeszültségek hatására kialakuló lemezhorpadás. A különféle viselkedési-tönkremeneteli módok tiszta hajlítás esetén jelentkeznek a legszemléletesebb formában. A 4 eltérő esetnek megfelelően 4 keresztmetszeti osztályt definiálunk. A jellemző nyomaték-elfordulás görbéket mutatja az 1. ábra.

2. A KERESZTMETSZETI OSZTÁLYOZÁS TECHNIKÁJA

A keresztmetszetet alkotó nyomott lemezek (öv- és gerinclemez) szélesség/vastagság (c/t) arányát vizsgáljuk. A c/t arányszámok határértékeit az 1, 2 és 3. osztályra vonatkozóan az EUROCODE 3 szabvány tartalmazza. Hegesztett és hengerelt „I” szelvények alkotólemezeinek szélességi és vastagsági méreteinek értelmezését a 2. ábra mutatja.



1. ábra. A keresztmetszet nyomaték-elfordulás karakterisztikájának alapesetei



2. ábra. Alkotólemezek szélességi és vastagsági mérete

3. PROBLÉMAFELVETÉS – CÉL MEGFOGALMAZÁS

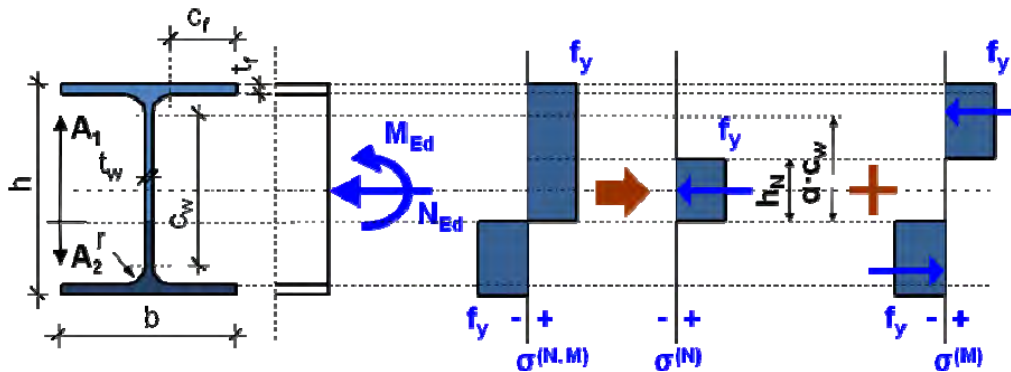
Tiszta igénybevételek esetén a keresztmetszetek osztályba sorolása egyértelműen és egyszerűen végrehajtható. Összetett igénybevételek esetén (N-M) az osztályba sorolást befolyásolja az igénybevételek nagysága. Adott keresztmetszet eltérő kihasználtságok mellett más-más keresztmetszeti osztályba tartozhat. Ebben az esetben az osztályba sorolás sok számítást igénylő feladat. A cél egy egyszerűsített eljárás kidolgozása a szelvények keresztmetszeti osztályba sorolásához. Melegen hengerelt szelvényekre vonatkozó táblázatok összeállítása, melyek a kihasználtság függvényében adják meg a keresztmetszet osztályát.

4. I. ÉS II. OSZTÁLY VIZSGÁLATA (KÉPLÉKENY FESZÜLTSÉGELOSZLÁST FELTÉTELEZVE)

Keressük azt az $N_{Ed} - M_{Ed}$ igénybevétel párt, mely hatására a keresztmetszet I. osztályból II. osztályba, illetve II. osztályból III. osztályba lép.

1. *peremfeltétel*: A keresztmetszet nyomott zónájának (α) határhelyzetére vonatkozó előírás teljesülése. I. és II. osztályra vonatkozó előírások: (1)

$$\frac{c_w}{t_w} \leq \frac{(396;456) \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} \rightarrow \alpha = \left(\frac{(396;456) \cdot \varepsilon}{\frac{c_w}{t_w} + 1} \right) \cdot \frac{1}{13} \quad (1)$$



3. ábra. A keresztmetszetben ébredő feszültségek eloszlása

Feltételezzük, hogy a keresztmetszet teljesen képlékeny állapotban van (korlátozatlan folyás határállapota). Az α értékéből kifejezhető a h_N (nyomott zóna magassága) értéke (2):

$$\alpha = 0,5 + \frac{h_N}{2 \cdot c} \rightarrow h_N = (\alpha - 0,5) \cdot 2 \cdot c \quad (2)$$

Meghatározzuk az osztályváltáshoz tartozó N_{Ed} értékét (3):

$$N_{Ed} = (h_N \cdot t_w) \cdot f_y \quad (3)$$

2. *peremfeltétel*: Erővetületi és nyomatéki egyenletek megfeleltetése

A keresztmetszet egyensúlyát leíró egyenletek (4):

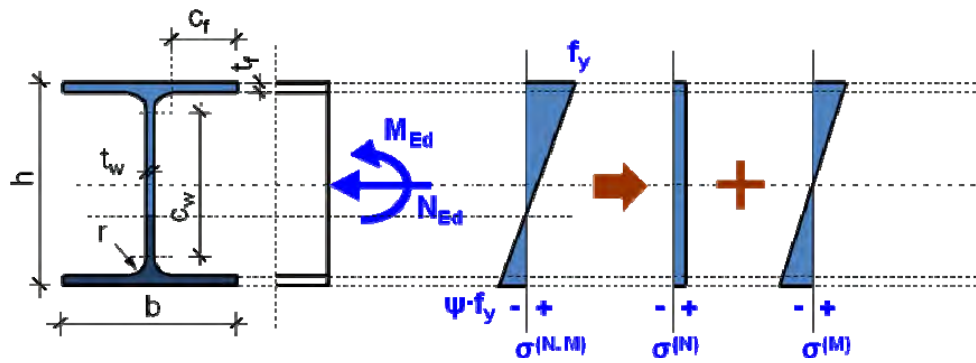
$$\begin{aligned} N_{Ed} &= \int_{(A)} \sigma_{(x)} dA = +\sigma_x \int_{(A_1)} dA - \sigma_x \int_{(A_2)} dA = (A_1 - A_2) \cdot f_y \\ M_{Ed} &= \int_{(A)} \sigma_x \cdot z dA = +\sigma_x \int_{(A_1)} z dA - \sigma_x \int_{(A_2)} z dA = (S_{y1} - S_{y2}) \cdot f_y \end{aligned} \quad (4)$$

3. *peremfeltétel*: Képlékenységi feltétel (5)

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} + \frac{N_{Ed}^2}{N_{w,Rd}^2 + \left(2 \cdot \sqrt{t_w \cdot S_f} \cdot f_y \right)^2} - 1 = 0 \quad (5)$$

5. III. OSZTÁLY VIZSGÁLATA KÖZELÍTŐ ELJÁRÁSSAL (RUGALMAS FESZÜLTSÉGELOSZLÁST FELTÉTELEZVE)

Keressük azt az $N_{Ed} - M_{Ed}$ igénybevétel párt, mely hatására a keresztmetszet III. osztályból IV. osztályba lép.



3. ábra. A keresztmetszetben ébredő feszültségek eloszlása

1. *peremfeltétel*: A keresztmetszet nyomott zónájának (ψ) határhelyzetére vonatkozó előírás teljesülése. III. osztályra vonatkozó előírás (6):

$$\frac{c_w}{t_w} \leq \frac{42 \cdot \varepsilon}{0,67 + 0,33\psi} \rightarrow \psi = \frac{42 \cdot \varepsilon - 0,67 \cdot \frac{c_w}{t_w}}{0,33 \cdot \frac{c_w}{t_w}} \quad (6)$$

Az osztályváltást előidéző normálerő meghatározása (7):

$$N_{Ed} = \frac{(1 + \psi) \cdot f_y \cdot A}{2} \quad (7)$$

Az osztályváltást előidéző igénybevétel pár nyomaték tagjának meghatározása (8):

$$M_{Ed} = \frac{(\psi - 1) \cdot f_y \cdot W_{El}}{2} \quad (8)$$

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Adott keresztmetszetre egyértelműen meghatározható az összetartozó **N-M** igénybevételpár, amely esetén a keresztmetszet osztályt vált. Hengerelt szelvények esetén az eredmények a kihasználtság függvényében táblázatba foglalhatók. Az előzőekben levezetett összefüggések felhasználásával létrehoztam egy **IPE** szelvényeket összetett igénybevételek esetén osztályba soroló táblázatot, mely a gyakorló mérnökök segítségére lehet, a tervezés során időt és energiát megtakarítva számukra.

FELHASZNÁLT IRODALOM

MSZ EN 1993-1-1:2005 Eurocode 3: Acélszerkezetek tervezése

ÚJRAHASZNOSÍTOTT ADALÉKANYAGÚ BETONOK

CONCRETE WITH RECYCLED AGGREGATE

JANI SÁNDOR GÁBOR* – SERESTYÉN TAMÁS –
– PANKHARDT Kinga*** * – KOVÁCS József******

Debreceni Egyetem Műszaki Kar

Építőmérnöki Tanszék

4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.

* hallgató, jani_sandor@yahoo.com

** hallgató, tomiseres@freemail.hu

***főiskolai docens, kpankhardt@yahoo.com

****műszaki oktató, j.kovacss@gmail.com

Kivonat: Magyarországon évente jelentős mennyiségű bontási és építési hulladék keletkezik. A bontásból származó nagy mennyiségű beton hulladéklérakókban való elhelyezése gondot jelent. Az Európai Unióban csak külön engedéllyel lehet szemétlérakó helyet építeni, ezért a törmelékek tárolására és felhasználására mielőbb megoldást kell találni. Az újrahasznosítással csökkenthető az elsődleges nyersanyagok felhasználása (a természetes adalékanyagok bányászatához, előállításához és szállításához szükséges energiát spórolhatunk meg) ezáltal elősegíti a környezettudatos építést. Az újrahasznosított betonok forrást jelenthetnek, pl. új betonok adalékanyagaként való alkalmazásánál, vagy útalapokhoz. Laboratóriumi vizsgálatokat végeztünk beton töret adalékanyagként való felhasználására. Vizsgáltuk a friss betonok konzisztenciáját, a megszilárdult betonok szilárdsági jellemzőit, valamint összehasonlítottuk a természetes adalékanyagú (homokos kavics) betonokkal.

Kulcsszavak: bontott törmelék, újrafelhasználás, beton, konzisztencia, szilárdság

Abstract: Hungary produces a significant amount of demolition and construction waste each year. The large volume of concrete waste generated during demolition makes it difficult for landfills to accommodate. Since the European Union has very strict restrictions on constructing and maintaining landfills, there is increasing demand of resolving waste storage and recycling in these countries. Recycling eliminates the need for primer materials (saves energy compared to mining, processing and transporting natural aggregates), therefore it makes environmentally compatible structures possible. Recycled concrete can be source e.g. as aggregate for new concrete or for road sub-layers. The properties of recycled fresh and hardened concrete with crashed concrete aggregate were experimentally studied and compared with concrete produced with natural aggregate (sandy gravel).

Keywords: recycled aggregate, recycling, concrete, consistency, strength

1. BEVEZETÉS, PROBLÉMA FELVETÉS

A II. világháború előtt és közvetlenül azután épült régi ipari épületek egy része napjainkra korszerűtlenné vált, elvesztették funkciójukat. Bontásuk szükségessé válik, hogy új épületeknek adhassák át a helyüket. A keletkező bontási hulladék elszállítása és elhelyezése gondot okoz. Környezetvédelmi szempontból is célszerű a bontott építőanyagokat fajtánként elkülöníteni és arra alkalmas hányadukat előkészítés után hasznosítani. Magyarországon évente mintegy 3 millió tonna, a hasznosítás szempontjából figyelemre méltó, általában nem veszélyes építési és bontási törmelék illetve építőanyag gyártási hulladék keletkezik [1]. Az Országos Hulladékgazdálkodási Terv, a jövőben a 40%-os minimális felhasználási hányad elérését tűzte ki célul, amihez sok feltétel megteremtése szükséges, mint például [2, 3]:

- a hasznosítást és a megelőzést támogató jogszabályok létrehozása;
- az építési és bontási hulladék kezelésének részletes szabályainak elkészítése;
- megoldás a másodlagos nyersanyag minőségi osztályba való sorolásához;
- felülvizsgálata az építőipari, útépitési és építési szabványoknak;

- a műszaki irányelvek, vizsgálati, minősítési módszerek módosítása;
- az állami és önkormányzati pályázatokban, előnyben való részesítése a hasznosítható építési hulladék felhasználásának.

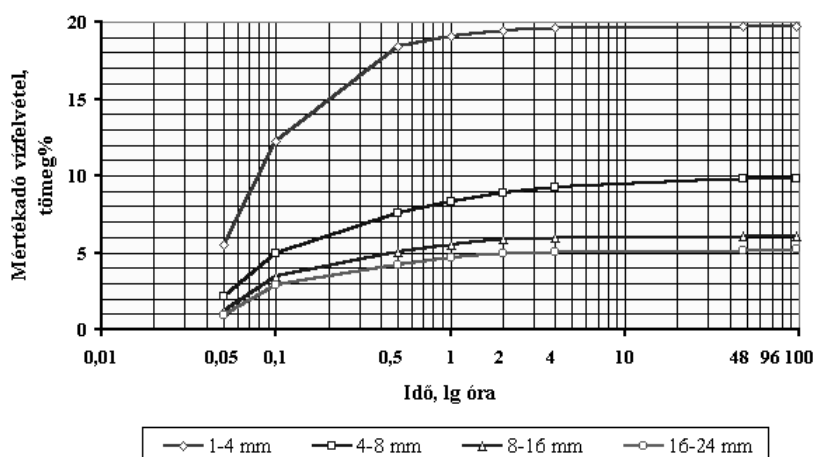
A bontott, újrahasznosított adalékanyagok betonkészítéshez való felhasználhatóságának feltételeivel az európai építési szabványok nem foglalkoznak, de a felhasználást lehetővé teszik.

2. AZ ÚJRAHASZNOSÍTOTT ADALÉKANYAG

A bontási az építési valamint az építőanyag-gyártási hulladékot kellőképpen fel kell dolgozni ahhoz, hogy adalékanyagként beton készítésére fel lehessen használni. A jó minőségű újrahasznosított adalékanyagként építési, bontási törmelék felhasználásának nélkülözhetetlen feltétele az elkülönített (szelektív) bontás és építési hulladékgyűjtés. Az építőanyag fajtánként elkülönített hulladékot több fokozatban megfelelő szemnagyságúra kell törni, közben az idegen anyagoktól, vasbeton illetve feszített vasbeton esetén a betonacéltól illetve a feszítő huzaltól és pászmától meg kell tisztítani, majd frakciókra osztályozni. A frakciókat elkülönítetten kell tárolni és szállítani. Az osztályozott újrahasznosított adalékanyagot frakciónként és mérlegelve kell a betonkeverő gépbe juttatni.

A bontási és építési hulladék feldolgozása **mobíl**, vagy (többlépcsős szennyező anyag és finomrész leválasztása illetve mosó osztályozásra alkalmas) **telepített üzemben** történhet. Hazánkban általában az olcsóbban beszerezhető, de a **telepített** gépsorok műszaki lehetőségei mögött elmaradó **mobíl gépsorok** terjedtek el, amelyek szennyező anyag és finomrész leválasztása a száraz osztályozás folytán nem kellően hatékony [1, 2].

A feldolgozó gépsor anyagfogadó bunkerébe a bontási és építési hulladékot általában hidraulikus rakodógéppel szállítják. A gépsor általában előosztályozóból, törőgépből, a kihordó szalaghoz illesztett mágneses vasleválasztóból és osztályozóból áll.



1. ábra Betontörmelék frakciók mértékadó vízfelvétele az idő függvényében [5, 6]

3. LABORATÓRIUMI KÍSÉRLETEK

3.1. A vizsgálat tárgya

A Debreceni Egyetem Műszaki Kar Építőmérnöki Tanszék Szilárdságtani Laboratóriumában kísérleteket végeztünk újrahasznosított adalékanyagú betonokkal. Vizsgálataink célja volt, az újrahasznosított és természetes adalékanyag [7, 8] hatásának vizsgálata a szilárdság alakulására. A tört beton adalékanyagot a Kiss és Társa Kft. (Budapest) állította elő (0/10 és 10/20 frakciók) és bocsátotta rendelkezésünkre.

3.2. Kísérleti állandók

A kísérleti paramétereknél állandók voltak:

- az adalékanyag finomsági modulusa: $m_h=6,8$; $m_u=6,8$;
- víztartalom: 180 l/m^3 ;
- cement fajta: CEM I 42,5 N;
- cement adagolása: 360 kg/m^3 ;
- a kiegészítő finomrész típusa: mészköliszt;
- a kiegészítő finomrész adagolása: 60 kg/m^3 .

3.3. Kísérleti változók

A kísérleti paramétereknél változók voltak:

- adalékanyag típusa: i) természetes adalékanyag (homokos kavics),
ii) újrahasznosított adalékanyag (beton töret).

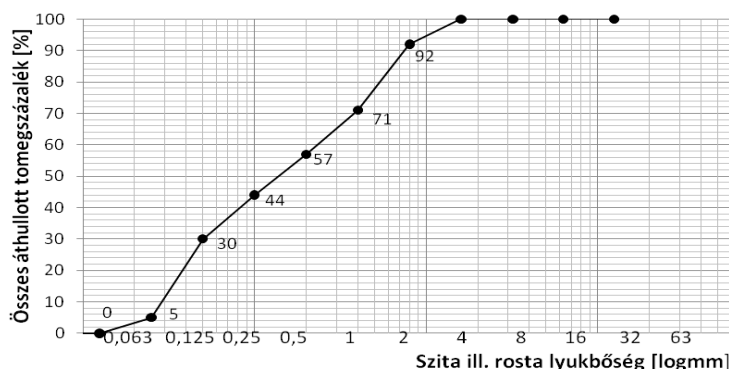
3.4. Próbatetek

Két betonreceptet készítettünk, az egyiknél természetes adalékanyagot alkalmaztunk, míg a másik receptnél 100%-ban beton törettel helyettesítettük a természetes adalékanyag frakciót. A két különböző betonösszetételhez 12 db, összesen 24 db $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$ -es próbakockát készítettünk, továbbá receptúránként 2 db $150 \times 150 \times 500 \text{ mm}$ -es gerendát.

A próbateteket az MSZ 4798-1:2004 [9] előírásainak megfelelően a kizsaluzástól a törésig vízben tároltuk

3.5. Szemeloszlási görbék

Az adalékanyagok szemeloszlását az MSZ 18293 szabvány [10] szerinti „A” szitasoron vizsgáltuk. Az egyes szitákon fennmaradt tömegeket megmérve határoztuk meg a frakciók szemmegoszlási görbéit (2. és 3. ábrák).



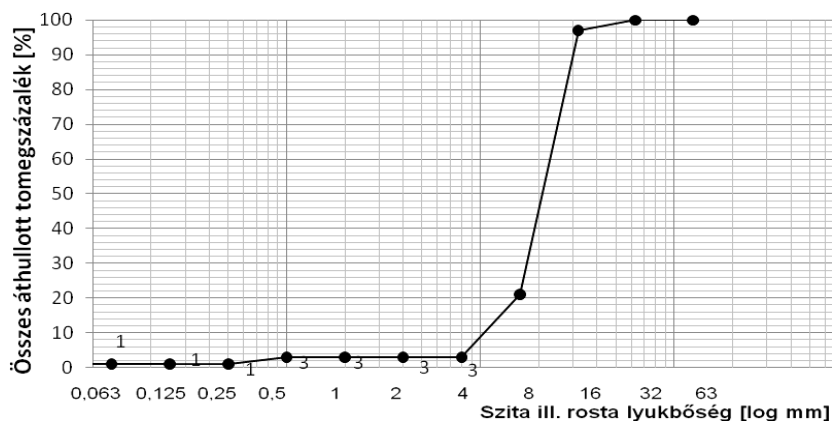
2. ábra Szemeloszlás 0/10 frakció (újrahasznosított adalékanyag)

3.6. Szemalak vizsgálat

Az adalékanyag frakciók szemalak vizsgálatát [7] az MSZ 18288/3:1978 szabvány [11] szerint vizsgáltuk. A 4 mm -nél nagyobb szemek szemalakja két fő méret viszonyzáma alapján (1. táblázat, 2. táblázat):

- a szem zömök, ha $1,0 \geq v/s > 0,5$

- a szem lemezes, ha $0,5 \geq v/s > 0,0$



3. ábra Szemeloszlás 10/20 frakció (újrahasznosított adalékanyag)

adalékanyag frakció	v/s	szemalak
16/32	0,49	lemezes
8/16	0,52	zömök
4/8	0,48	lemezes

1. Táblázat Természetes adalékanyag szemalak vizsgálati eredménye

adalékanyag frakció	v/s	szemalak
10/20	0,51	zömök
0/10	0,46	lemezes

2. Táblázat Újrahasznosított adalékanyag szemalak vizsgálati eredménye

3.7. Hidrotechnikai jellemzők

A vizsgálat során az újrahasznosított adalékanyag két felhasznált frakciójából 200 g minta vízfelvételét mértük oly módon, hogy a mintákat víz alá helyeztük és adott időközönként vizsgáltuk a tömegüket, majd azokat viszonyítottuk a légszáraz tömeghez. Méréseink alapján megállapítható volt, hogy mindkét tört adalékanyag frakció (0/10, 10/20) esetében az első 10 percben a leggyorsabb a vízfelvétel üteme, majd ezt követően időben jelentősen lelassul. A 0/10 frakció esetében 6 perc után jelentős 17 m% vízfelvétel tapasztalható, majd 60 percet követően 8,75 m% lett. Míg a 0/20 frakciónál 60 percet követően 8,75 m% vízfelvételt mértünk.

3.8. Adalékszer

A beton konzisztenciájának javítása érdekében Glenium C300 típusú folyósítót alkalmaztunk (BASF termék). A folyósítószer a konzisztenciára való hatását (a víz felületi feszültségét csökkenti) nehezebben tudja kifejteni az újrahasznosított betonok esetében, mivel a keverővízzel nehezebben tud elkeveredni, mert a víz a tört beton adalékanyag felületén, - annak pórusaiba is behatolva - van jelen.

4. FRISS BETON TULAJDONSÁGOK

4.1. Konzisztencia

A konzisztencia-vizsgálatokat [12] a terület meghatározására rendszeresített csonka kúp segítségével határoztuk meg.

Receptúra	Φ terület (cm)
Újrahasznosított adalékanyagú beton	31,5
Természetes adalékanyagú beton	36,5

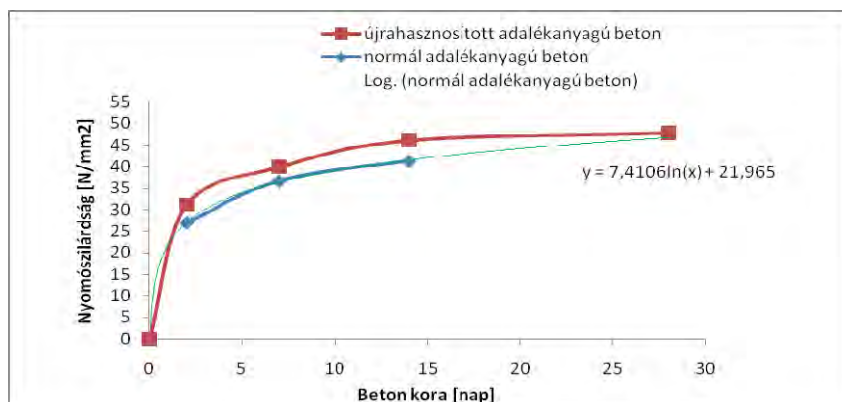
3. Táblázat Frissbeton konzisztencia eredményei

5. MEGSZILÁRDULT BETON TULAJDONSÁGOK

5.1. Nyomószilárdság

A megszilárdult betonok 2, 7, 14 és 28 napos korban mért átlagos nyomószilárdságára vonatkozó függvényeket az Excel táblázatkezelő segítségével ábrázoltuk (4. ábra).

A 28 napos nyomószilárdsági értékeket egy, a program által elhelyezett logaritmikus trendfüggvény segítségével becsültük a kezdeti értékek ismeretében. A 4. ábrán feltüntettük a trendfüggvény képletét is. A 28 napos szilárdsági értékek az előrejelzésnek megfelelően alakultak.



4. ábra Természetes és újrahasznosított adalékanyagú betonok átlagos nyomószilárdsági értékei az idő függvényében

A tört beton adalékanyagú gerendák átlagos nyomószilárdsága 28 napos korban 47,78 N/mm². A természetes adalékanyagú gerendák átlagos nyomószilárdsága 28 napos korban 45,42 N/mm².

5.2. Hajlítószilárdság

A hajlítószilárdsági vizsgálatokat az MSZ 4798-1:2004 [9] előírásainak megfelelően receptúránként 2 db 150×150×500 mm-es gerendán végeztük, az alátámasztási fesztáv 450 mm volt (5. ábra).

A hajlító-húzó szilárdság számítása:

$$f_t = \frac{F_{\max} \cdot l}{b \cdot h^2} \quad (1)$$

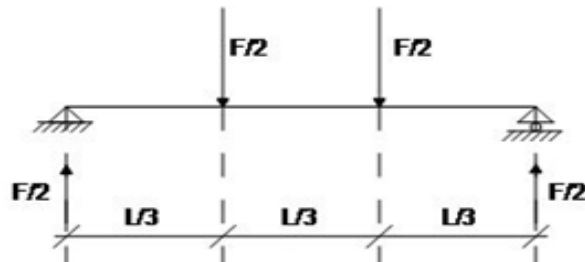
ahol:

F_{\max} – a törőerő;

b – a hasáb szélessége;

h – a hasáb magassága;

l – támaszköz.



5. ábra Harmadpontos hajlító vizsgálat elrendezése

A tört beton adalékanyagú gerendák átlagos hajlítószilárdsága 28 napos korban $5,41 \text{ N/mm}^2$, amely a nyomószilárdság azonos időpontban mért értékének 11,3%-a. A természetes adalékanyagú gerendák átlagos hajlítószilárdsága 28 napos korban $4,93 \text{ N/mm}^2$.

5.3. Hasító-húzószilárdság

A két keverék hasító-húzószilárdsági vizsgálatát a hajlítószilárdsági kísérlet során eltört 28 napos beton töret adalékanyagú próbatesteken végeztük (6. ábra).

A tört beton adalékanyagú gerendák átlagos hasító-húzó szilárdsága 28 napos korban $4,73 \text{ N/mm}^2$, amely a nyomószilárdság azonos időpontban mért értékének 9,9%-a. A természetes adalékanyagú gerendák átlagos hasító-húzó szilárdsága 28 napos korban $3,76 \text{ N/mm}^2$.



6. ábra Tört beton felülete, bal oldal: újrahasznosított adalékanyagú, jobb o.: homokos kavics adalékanyagú

6. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A Debreceni Egyetem Műszaki Kar Építőmérnöki Tanszék Szilárdságtani Laboratóriumában kísérleteket végeztünk újrahasznosított adalékanyagú betonokkal. Laboratóriumi vizsgálataink közvetlen célja a betontechnológiai jellemzők hatásának meghatározása a

szilárdulási folyamatokra, ill. a 28 napos átlagos nyomószilárdságra.

6.1. Friss betonokra tett megállapítások

Keverés közben megfigyelhető volt, hogy azonos mennyiségű vizet sokkal hamarabb vesz fel a betontörettel készült keverék, mint a természetes adalékanyaggal készített. Így, a konzisztenciája nem volt megfelelő ahhoz, hogy megfelelően bedolgozható legyen. A keverés során többlet folyósítószer alkalmazására volt szükség. A természetes adalékanyagnál a cement tömegére vonatkoztatva 1% volt az adalékszer adagolása, míg a tört adalékanyagnál 2%-ra növeltük az adalékszer mennyiségét.

A folyósítószer konzisztenciára való hatását (a víz felületi feszültségét csökkenti) nehezebben tudja kifejtetni az újrahasznosított betonok esetében, mivel a keverővízzel nehezebben tud elkeveredni, mert a víz a tört beton adalékanyag felületén, - annak pórusaiba is behatolva - van jelen. A tört adalékanyagú betonok esetében az adalékanyag fajlagos felülete is nagyobb a természetes adalékanyagéhoz képest, amely befolyásolja a péptartalomra jutó fajlagos vízmennyiséget is. Így, javasolt a próbakeveréseket követően a végleges keverést megelőzően a beállított folyósítószer mennyiséget közvetlenül a keverővízhez adagolni.

Az újrahasznosított adalékanyaggal kevert betonnak kisebb volt a területe (konzisztenciája), mint a természetes adalékanyagú betonnak.

Az újrahasznosított adalékanyagú beton bedolgozása, valamint a tömörítése is több időt igényelt, mint a természetes adalékanyagú betoné, ezért fontos a minél hamarabbi bedolgozás. Az újrahasznosított adalékanyagot javasolt előzetesen nedvesíteni (pl. a frakciók időbeni vízfelvétele alapján, lásd 3.7 fejezetet), esetleg vízzel telíteni, hogy a péptől ne szívjon el túl sok vizet a porózussága révén, csökkentve ez által a víz-cement tényezőt és rontva a konzisztenciát.

A vizsgált újrahasznosított adalékanyagú beton eltarthatósága és bedolgozhatósága rosszabb volt, mint a közönséges betonoké. Ezért az adalékanyag előzetes vízfelvételi jellemzőinek vizsgálata alapján lehet a konzisztenciát megfelelően beállítani. Mivel körülmények között kell eljárni, ilyen betonok alkalmazásakor, így ez nagyban befolyásolhatja a felhasználásának elterjedését és keresletét. Napjainkban ott hasznosítható leginkább, ahol nagyobb mennyiségű betontöret keletkezik, ill. ahol az újrahasznosított adalékanyag biztosított.

6.2. Megszilárdult betonokra tett megállapítások

Az elvégzett nyomószilárdsági vizsgálatok alapján megállapítható, hogy az ugyanolyan korú betonok összehasonlításánál (4. táblázat) az újrahasznosított adalékanyagú betonoknak 5-10%-kal nagyobb az átlag nyomószilárdsági értéke, mint a közönséges betonoknak. Megjegyezzük azonban, hogy a rosszabb bedolgozhatóság és tömörítés miatt nagyobb a szórása a szilárdsági értékeknek, mint a természetes adalékanyagú betonoknak.

Az újrahasznosított betonok kezdeti magasabb szilárdága a szemcsék pórusaiban lévő víznek is köszönhető, mivel az belülről „utókezelte” a betont, adagolva a hidratáció alakulása alatt a cementhez szükséges vizet, melynek a korai szilárdulási folyamatában van jelentősége. A porózus adalékanyag révén a tényleges víz-cementtényező csökkent, mely szintén kedvezően hatott a szilárdság alakulására [13].

A tört betonoknak a szemcsék felületének érdessége miatt jobb tapadás biztosított [14, 15] a cementkövel, így a szemcsék kevésbé tudnak a terhelés hatására „elfordulni”, így ez a szilárdsági jellemzőket is előnyösen befolyásolja.

Kísérletünk is alátámasztja a tört beton adalékanyagú betonok hasznosíthatóságát. További

kutatások, irányelvek megjelenése segítheti a szélesebb körű építőipari hasznosításukat [16].

	Átlagos hajlító- szilárdság f_t (N/mm ²)	Átlagos hasító- szilárdság f_{tk} (N/mm ²)	Átlagos nyomó- szilárdság $f_{cm,cube}$ (N/mm ²)	Hajlító/ nyomó $\frac{f_t}{f_{cm,cube}}$ (%)	Hasító/ Nyomó $\frac{f_{tk}}{f_{cm,cube}}$ (%)
Természetes adalékanyagú	4,93	3,76	45,42	10,8	8,3
Újrahasznosított adalékanyagú	5,41	4,73	47,78	11,32	9,9

4. Táblázat Szilárdsági vizsgálatok összesítő eredmény táblázata

7. KITEKINTÉS

Kutatásaink során a természetes adalékanyag frakciókat részben újrahasznosított adalékanyaggal szeretnénk helyettesíteni, vizsgálva a megszilárdult betonok alakváltozási, a tartóssági jellemzőit is.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **PANKHARDT, K.**, Az újrahasznosított adalékanyagú betonok I., Beton, 2000/3. pp 3-7.
- [2] **BV-MI 01:2005 (H)**, "Beton- és Vasbetonépítési Műszaki Irányelv, Betonkészítés bontási, építési és építőanyag-gyártási hulladék újrahasznosításával", 2005, *fib* Magyar Tagozatának Műszaki Irányelv Bizottsága, 120 p.
- [3] **PANKHARDT, K., NEHME, S.G.**, Javaslatok a hulladékgazdálkodási irányelvekhez, Újrahasznosított adalékanyagú betonok, Mérnök Újság, VII. évf. 2000/3. pp. 13-14.
- [4] **KAUSAY, T.**, Betontörmelék és téglatörmelék újrahasznosítása beton adalékanyagként Tanulmány www.betonopus.hu, 2005
- [5] **KAUSAY, T.**, Bontott törmelék újrahasznosítása betonelemek adalékanyagként I., Beton. XII. évf., 01. szám, 2004 pp. 3-8.
- [6] **KAUSAY, T.**, Adalékanyag, Beton, XIII. évf., 10. sz., 2003, pp. 10-11.
- [7] **BALÁZS, Gy.**, Építőanyagok és kémia, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1994, pp. 80, 237-282.
- [8] **PALOTÁS, L., BALÁZS, Gy.**, Beton – habarcs – kerámia – műanyag VIII., Akadémiai Kiadó, 1980, pp. 19-27., 131-134.
- [9] **MSZ 4798-1:2004**, Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés, valamint az MSZ EN 206-1 alkalmazási feltételei Magyarországon
- [10] **MSZ 18293**, Homok, homokos kavics és kavics
- [11] **MSZ 18288-3:1978**, Építési kőanyagok szemszerkezeti és szennyeződési vizsgálata
- [12] **MSZ EN 206-1:2002** Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés
- [13] **UJHELYI, J.**, Beton és habarcs technológia, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973, pp. 580-593.
- [14] **NEHME, S.G., PANKHARDT, K.**, Strength and deformation of recycled concrete, „Proceedings fib 2002 Osaka Congress”, Japan, Oct. 10. session, pp. 59-68.
- [15] **PANKHARDT, K.**, Az újrahasznosított adalékanyagú betonok III., Beton, 2000/5. pp. 3-7.
- [16] www.nkth.gov.hu/letolt/kutat/kissts.doc

GUMIALKATRÉSZEK ALAKOPTIMALIZÁLÁSÁNAK ELVI MEGKÖZELÍTÉSE

SHAPE OPTIMIZATION THEORY OF RUBBER PARTS

SZABÓ GÁBOR¹, MANKOVITS TAMÁS²

egyetemi hallgató¹, főiskolai adjunktus²
Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék
l.szabo.gabor@gmail.com, tamas.mankovits@mfk.unideb.hu

Kivonat: Mivel a magyar szakirodalom gyakorlatilag nem említi az alakoptimalizálás kérdéskörét és az egyéb tudományokhoz való kapcsolódási pontjait, ezért jelen cikk előbb felvázolja a gumi technológiai jellemzőit, a gumirugó gyártását, szoftveres szimulációját. Ezután betekintést nyújt az alakoptimalizálás elvi hátterébe.

Kulcsszavak: gumi, végeselemes szimuláció, alakoptimalizálás

Abstract: The Hungarian engineering literature practically not really mention of the problem of shape optimization. In this paper the technological parameters of rubber parts, the producing of rubber springs and the simulation of rubber parts are itemized. Finally the theories of shape optimization are introduced.

Keywords: rubber, finite element simulation, shape optimization

1. BEVEZETÉS

A megnövekedett nemzetközi versenyben az ügyfél-orientált cégek csak akkor maradhatnak talpon, ha képesek mind magas szintű technológiai innovációt, mind pedig költséghatékony termékeket nyújtani. Ezért a tervezőknek mind rövidebb idő alatt mind jobb megoldásokat kell találnia, egyre többféle követelménynek megfelelően. Ennek eredménye egy, vagy több terv variáns. Szükséges ellenőrzések és végleges gyártási dokumentáció elkészítése előtt érdemes egy optimalizálási lépés közbeiktatása, ahol az egy, vagy több kiinduló konstrukció és a megfogalmazott követelménylisták figyelembevételével egy javított, a továbbiakban optimalizált konstrukció kialakítására törekszünk. Ez különösen igaz a gumirugók esetén. Jelen cikk ezért felvázolja a gumi technológiai jellemzőit, a gumirugó gyártását, szoftveres szimulációját, valamint betekintést nyújt az alakoptimalizálás elvi hátterébe. [1]



1. ábra Gumik viselkedését befolyásoló tényezők

2. A GUMI JELLEMZŐ PARAMÉTEREI ÉS ALAPANYAGAI

A guminak az acélhoz viszonyítva nagyságrendekkel kisebb rugalmassági modulusa (1 és 300 [MPa]). Az acélhoz képest rugalmas, nyúlása 600-900 %-os. Tudni kell, hogy a gumi rugalmas deformálhatósága csak alakváltozására értendő, de térfogatváltozására nem. Egy teljesen körülzárt gumitömb gyakorlatilag összenyomhatatlan. E tulajdonságát fontos ismerni gumirugós szerkezetek kialakításánál, mert különben könnyen rugózásra képtelen szerkezetet nyerünk [2].

A megrendelő általában a gumi Shore keménységét írja elő, a vegyészek ez alapján állítják össze az összetételt. Az általános összetevők többé-kevésbé ismertek, ezeknek az arányai az eltérőek:

- kaucsuk: természetes vagy mű,
- térhálósító: ez a vulkanizáló anyag főképp kén,
- aktivátor: sztearin,
- töltőanyag: SiO₂, TiO₂, Socal töltőanyagok,
- szénhidrogén: antilum,
- öregedésgátlók: pl.: Matoflex, Ongrostab, Antioxidánsok,
- gyorsítók: tiurámok, xantogenátok, ditiokarbanátok,
- egyéb: Korom (15, 50, 80, 100 szemcseméretű).

Az összetevők jelentős mértékben befolyásolhatják a gumialkatrész jellemzőit.

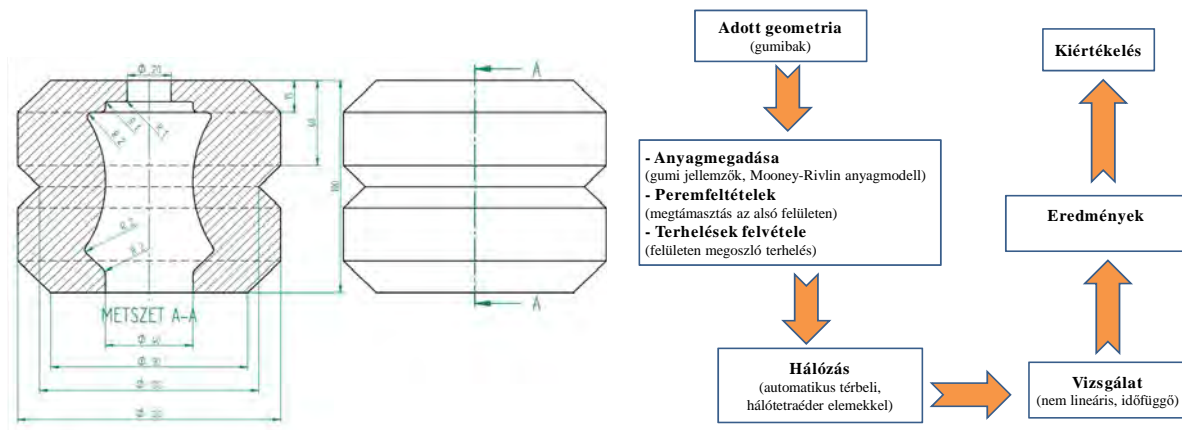
3. A GUMIRUGÓ GYÁRTÁSA ÉS ALKALMAZÁSI TERÜLETEI

A kaucsukból és a különböző adalékokból előbb gumit gyártunk és csak utána különböző gumialkatrészeket. A kaucsukot a különböző gumifák nedvéből nyerik. Ebből a latexnek nevezett nedvből a kaucsukot ecetsavval kicsapatják, majd ezt a tésztaszert anyagot kb. 35°C-os előmelegített hengerszékre helyezik, ahol feltapad. A feltapadt alapanyagot összevagdaltják és hozzáadagolják a különböző por állagú vegyszereket. A legfontosabb vegyszer a vulkanizáló anyag, melynek segítségével rugalmas térbeli hálóvá alakítják át a molekulahálót. A vulkanizálás nem más, mint a gumi tulajdonságait megváltoztató kémiai kezelés. A módszer növeli a rugalmasságot, húzószilárdságot, és a kopásállóságot. A vulkanizáláskor a szénlánc kettőskötéseinek egy részébe épülnek a kénatomok, ezáltal térhálósítva a gumit. Minél több a kénhíd, annál keményebb lesz a keletkező nyersgumi. A keletkezett nyersgumi alapvetően fehér, de ha kormot adagolunk hozzá, akkor feketévé válik. A nyersgumit, a bonyolult szerszámba helyezik. Általában 160°C-os (levegős) présgépen végzik a gyártást. A vulkanizálás után a munkadarabot eltávolítják a szerszámból és sorjazzák [3,4].

A gumirugókat széles körben alkalmazzák. Szerkezeti anyagként megtalálhatjuk a közlekedésben, a bányászatban, a mezőgazdaságban, és a gépészetben is. A gumi nagy fajlagos munkafelvetőképessége, nagy túlterhelhetősége, és egyes gumifajták nagy belső csillapítása kitéréshatároló ütközők és lökésgátlók számára előnyös, továbbá járművek rugózására [5].

4. A GUMIRUGÓ VÉGESELEMES SZIMULÁCIÓJA

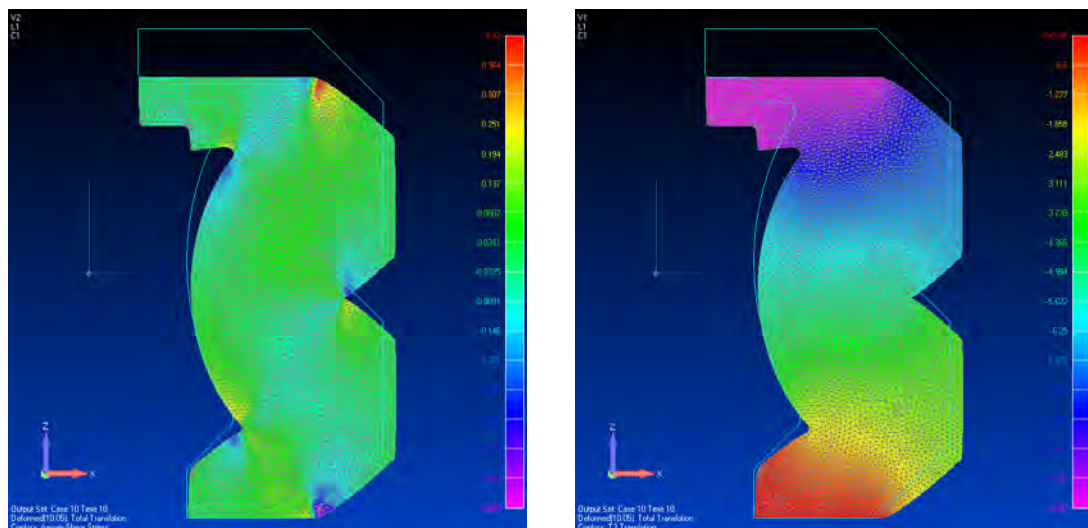
A műhelyrajz (2. ábra) a méretek névleges értéke alapján lett megrajzolva Solid Edge v20 3D-s CAD szoftver segítségével.



2. ábra A gumibak műhelyrajza, illetve a végeselemes vizsgálat elvi háttere

Az alapvető mérnöki szemlélet az, hogy tervezett termék a legjobb teljesítményt nyújtsa üzemi körülmények között, minél nagyobb hatásokkal. Ezért elengedhetetlen az alkatrészek viselkedésének minél precízebb megismerése. Hogy ezeket a célokat elérjük, a mérnöknek figyelembe kell venni a nemlineáris tulajdonságokat is a tervezéskor, így a számítógépes szimulációk egyre fontosabbak. Az utóbbi évtizedek egyik nagy hatékonyságú módszere a végeselem-módszer. Ma már az egyre bonyolultabb modellek megoldása valósítható meg végeselem-szoftverek segítségével. Ezért végeztük el számítógépes program segítségével a szimulációt. A vizsgálatok során a FEMAP 9.3 végeselem-szoftver alkalmaztuk.

Az szoftver beállításához szükséges Mooney-Rivlin anyagállandók (μ_{10} ; μ_{01}) értékét egy végeselem-szoftverfejlesztők által közzétett cikkből választjuk meg [6]. Vizsgálatunk során a hőhatások nem játszottak fontos szerepet, ezért hatásuktól eltekintettünk. A szimulációt szabad terhelés esetére végeztük el.



3. ábra A feszültség ill. az összenyomódás szimuláció VEM szoftverben a gumibakról

5. ALAKOPTIMALIZÁLÁS

Az egyes szerkezetekről az évek során összegyűlt elméleti és kísérleti ismeretek, tervezési, gyártási és üzemeltetési tapasztalatok lehetővé teszik, hogy mindezek figyelembevételével keressük az optimális megoldást [7].

A modern struktúrafejlesztésben olyan dolgoknak, mint például a "szimulációs tervezés"-

nek fontos szerep jut. Ezért az olcsó és gyors fejlesztéshez feltétlenül szükséges az, hogy az eszközök rendelkezésre álljanak, hogy így támogathassák mind a tervrajzokat mind a kisebb javításokat is. A mechanikailag terhelt szerkezeteknél ezért ma a diszkrét számítási módszerek (pl.: VEM) mellett használnak végrehajtott optimalizálási algoritmusokat is. A szerkezeti mechanikában, három hierarchikus, optimalizálási szintet értünk: a topológiát, a geometriát és a méretezést [8].

A topológia optimalizálásának a feladata, hogy támogassa a tervezési szintet. Az ipari felhasználása kereskedelemben kapható programokkal továbbra is igen korlátozott. Az iparban egy ideje a geometriai optimalizálást szinte kizárólag lineáris problémáknál használják. Méretezési optimalizálást ajánl minden nagyobb VEM csomag, az iparban elsősorban az összetett fény és héj struktúráknál használják. [8].

A minden szempontból optimális megoldáshoz az összes követelménynek megfelelő, elegendő számú adattal kell rendelkezniük.

Az optimális méretezés további előnye, hogy reális alapot ad az egyes konstrukcióváltozatok összehasonlítására, ami a tervező számára rendkívül hasznos segítséget jelent. Tehát a különféle optimáló eljárások lehetővé teszik a tervezőknek, hogy meghatározzák a legjobb megoldást a számos alternatíva közül. Ezen optimáló matematikai programozási technikák hatékonysága nagyon különböző. Egy bizonyos algoritmus kiválasztása függ a probléma jellegétől és a felhasználótól is [7].

6. KÖVETELMÉNYEK GUMISZERŰ ANYAGOK FELDOLGOZÁSÁNÁL

Tudományos körökben gyakran vitatkoznak az optimális megoldásról, tehát annak alapvető meglétéről és globális előnyeiről. Az alakoptimalizálás eredményeit gyakran helyezik olyan már érvényes tervekbe, amelyek már a tervezés kezdetekor kizárták a globális optimalizálást. Tehát a tervezési tapasztalatokat használják, amellyel csak egy jó tervezési kezdetet biztosíthatnak. A gyakorlatban azonban elég gyakran előfordul, hogy jobb megoldást találunk az egyes alkatrészekhez, mint amit a tervezési tapasztalatoktól várhatunk. Ezért a koncepcióterveknek már előfejlesztési szakaszban is keresni kell az optimális megoldásokat, habár itt inkább topológiai optimalizálást kell használni, mint alakoptimalizálást [8].

A fém-gumi alkatrészekre egyre nagyobbak az élettartalmi követelmények. A numerikus értelmezés ilyen alkatrészekre igen komplex, mert a szimulációknak gyakran muszáj tartalmazniuk egy hármas nem-linearitást (szerkezeti, geometriai és anyagi). Ennek viszont magas a gépigénye, emiatt gyakran hosszú a számítási idő. Mivel az alakoptimalizálást iterációs módszerrel oldjuk meg, ezért lényeges jobban figyelni, hogy a szoftver kezelni tudja a nem-lineáris problémákat. A gyakorlatban csak úgy van a mérnöki számításnak létjogosultsága, ha elfogadható tervezési időn belül az alkatrésztervezésben jelentős segítséget nyújt [8].

Gumialkatrészek fejlesztési ciklusainak probléma megoldási idejét szintén célszerű csökkenteni. Ezért a részletes problémamegoldásra is kevesebb idő jut. A modell felállítását és megoldását, az eredmények értelmezését és azok egy konstrukcióban való végrehajtását minimális idő alatt kell elvégezni [8].

A járműipar nagy szervezeti egységeivel szemben, a kis és középvállalkozásokban nem olyan szakemberek vannak, akik kizárólag optimalizálással foglalkoznának. Emiatt az optimalizáló szoftverek hatékonysága nem függhet az eljárások működésének pontos ismeretétől. A szoftverköltések minimalizálásához és az alakoptimalizálási lépések megkönnyítéséért ezen szoftverek a közös VEM szoftverekhez kapcsolódnak [8].

7. OPTIMALIZÁLÁSI MODELL: CÉLFÜGGVÉNY ÉS KORLÁTOK

Az alkatrészeket egy időben sokféle terhelés éri, ezért a célfüggvény egy időben többszörös igénybevételt is figyelembe vesz. Minden egyes esetben a gyártási peremfeltételeket is meg kell adni [8].

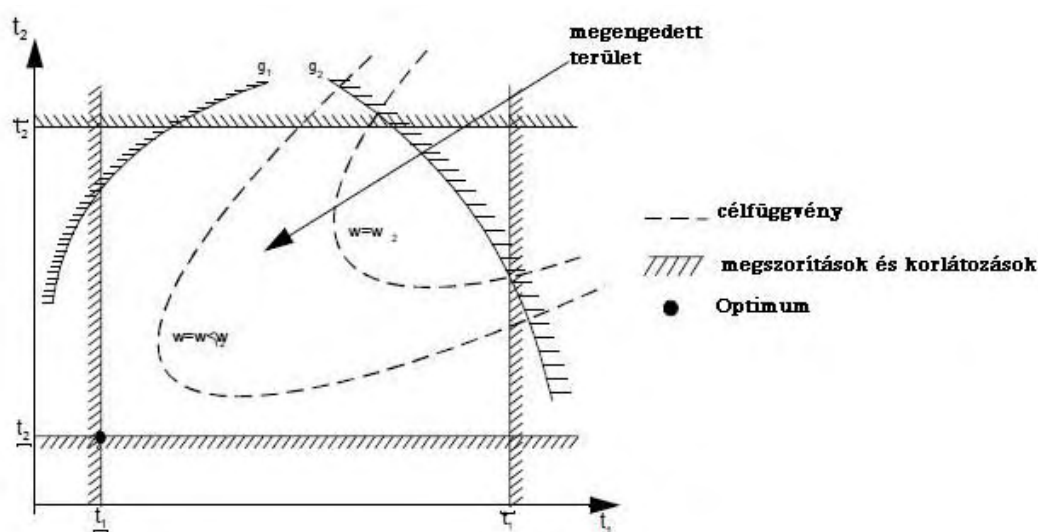
Az optimális méretezési feladat matematikailag feltételes szélsőérték meghatározást jelent. Az optimalizálás matematikája terén az utóbbi években igen nagy fejlődés tapasztalható, alkalmazási lehetőségei rendkívül kiszélesedtek [7].

A növekvő számú nagy teljesítményű gépek gyorsan felvetették azt a gondolatot, hogy az optimalizálási problémákat matematikai oldalról közelítsük meg. Már 1960-ban Schmidt azt javasolta, hogy a matematikai optimalizáló eljárást a struktúraelemzéssel, a végeselemes módszerrel keresztül vizsgálják. Az alapötlet az volt, hogy a struktúraoptimalizálási problémákat, mint egy általános, nem lineáris optimalizálási feladatot értelmezzük a következő egyszerű képlet segítségével [8]:

- Célfüggvény: $\omega(t) = \min$
- Korlátozások: $g(t) = g_1, g_2, \dots, g_m \geq 0$
- A korlátozások száma: m
- Határértékek: $t_i \leq t \leq t^*$
- A tervezési változók száma: n_{DV}

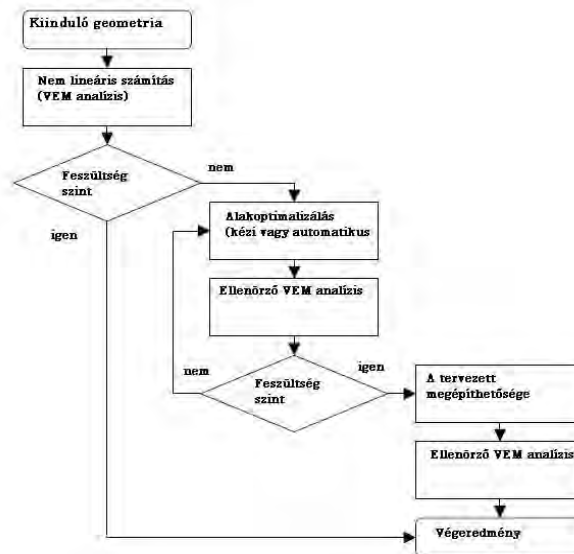
Azt a szerkezeti jellemzőt, amelyek szempontjából a konstrukciót megítéljük célfüggvénynek nevezzük, a változtatott geometriai paramétereket pedig tervezési változóknak. A tervezési változók optimális értékeit a kijelölt határokon belül kereshetjük, ezek geometriai feltételek, míg a működésre, gyárthatóságra megfogalmazható feltételek alkotják az optimalizálási feltételeket [1].

Összefoglalva, keresünk egy optimális tervet t^* időn belül egy egydimenziós, eukleidészi térben, ahol az adott körülmények között a célfüggvény a lehető legkisebb. A célfüggvényt skalár függvényként határozzuk meg, és ez reprezentálja a tervezés költségét. A t_i tervezési változó direkt korlátozása, az m darab korlátozás és a g_i garantálja, a struktúra funkcióképességét és határozza meg az optimalizálási folyamat megengedett tartományát. A 4. ábrán egy kétdimenziós tervezési probléma megvalósíthatási régiója látható:



4. ábra Kétdimenziós nem lineáris optimalizálási probléma

Az alakoptimalizálás folyamatábrája az 5. ábrán látható:



5. ábra Az alakoptimalizálás megoldási koncepciója [9]

Későbbiekben az optimalizálást a vizsgált alkatrészre korlátozzuk és feltételezzük, hogy ismert ennek kiinduló alakja, anyagjellemzői, valamint az erőfolyamatban érintkező felületek helyei és a kapcsolódás jellege a többi elemhez, valamint a vizsgált testre ható külső statikus terhelések. Ennek tudatában keressük majd a vizsgált alkatrész egy kedvezőbb geometriai kialakítását, olyan módon, hogy a geometriai jellemzőknek egy részét egy előre adott tartományon belül változtatjuk [1].

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A célunk az volt, hogy kapcsolatot mutassunk be a hagyományos, tapasztalati úton történő gumirugó tervezés és a modern, alakoptimalizálási eljárások között. Az alakoptimalizálásról szóló fejezet a vonatkozó magyar irodalom hiánya miatt német nyelvű szakirodalom részleges feldolgozásából származik. Ezért célunk csak az, hogy betekintést nyújtsunk, és felkeltsük mások érdeklődését is az alakoptimalizálás kérdésköre iránt. A kutatás következő fázisában a feldolgozott irodalmat szeretnénk alkalmazni a vizsgált alkatrészre.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **KÖRTÉLYESSI, G.:** Gépszerkezeti elemek alakoptimalizálása matematikai programozási módszerekkel, Doktori értekezés, Budapest 2007.
- [2] **TÓTH LABONCZ, J.:** Gépelemek III., Tankönyvkiadó, Budapest 1990.
- [3] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Gumi>
- [4] **BELINA, K.:** Gumipari Technológia, előadásvázlat
- [5] **MAKHULT, M.:** Gumirugók, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1963.
- [6] **ALTIDIS, P., WARNER, B.:** Analyzing Hyperelastic Materials. Midwest ANSYS Users Group, IMPACT Engineer Solutions 2005.
- [7] **Virág, Z. I.:** Bordázott lemezek és héjak optimális méretezése, PhD dolgozat, Miskolc 2008.
- [8] **KASPER, K., WIEGAND, M., CORDTS, D.:** Formoptimierung von nichtlinear belasteten Elastomerbauteilen, 1996.
- [9] **FRIEDRICH, M., BALTES, J., SCHÜTZ, M. GARTNER, H.:** Automatic Shape Optimisation of Elastomeric Products, 1999.